



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

Determinación de las fechas de siembra al temporal mediante el balance hídrico
para tres cultivos en Tabacundo

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

AUTOR: Rea Vásquez Álvaro Lenin

TUTOR: M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

Quito, 2020

DERECHOS DE AUTOR

Yo, **ÁLVARO LENIN REA VÁSQUEZ** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DE LAS FECHAS DE SIEMBRA AL TEMPORAL MEDIANTE EL BALANCE HÍDRICO PARA TRES CULTIVOS EN TABACUNDO**, 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, autorizo 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. 114 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.

Álvaro Lenin Rea Vásquez

C.C.: 1723560627

alrea@uce.edu.ec

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, presentado por el Señor **ÁLVARO LENIN REA VÁSQUEZ**, para optar por el Grado de Ingeniero Agrónomo, cuyo título es: **DETERMINACIÓN DE LAS FECHAS DE SIEMBRA AL TEMPORAL MEDIANTE EL BALANCE HÍDRICO PARA TRES CULTIVOS EN TABACUNDO**, 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 13 días del mes de mayo de 2020.

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

DOCENTE - TUTOR

C.C.: 1102697396

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

**DETERMINACIÓN DE LAS FECHAS DE SIEMBRA AL TEMPORAL MEDIANTE EL BALANCE HÍDRICO PARA
TRES CULTIVOS EN TABACUNDO.**

APROBADO POR

Ing. Agr. Randon Ortiz, M.Sc.

TUTOR

Ing. Agr. Manuel Pumisacho, M.Sc.

TRIBUNAL LECTOR – EVALUADOR

Ing. Agr. Darío Cepeda, Ph. D.

TRIBUNAL LECTOR – EVALUADOR

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas. Por brindarme la formación académica, profesional, el conocimiento y sobre todo los valores que me permitirán desenvolverse en el ámbito profesional, con el fin de contribuir al desarrollo de la sociedad.

A mis padres, los cuales fueron un eje fundamental ya que me brindaron el apoyo incondicional para lograr alcanzar tan anhelada meta.

Al Ing. Randon Ortiz, por compartir su conocimiento, y experiencia profesional, siendo un mentor incondicional durante el desarrollo de toda la investigación.

A los lectores, Doctor Darío Cepeda e Ingeniero Manuel Pumisacho, por haber aportado con su conocimiento durante mi formación académica y desarrollo de la investigación.

A mis amigos y amigas con los cuales compartí una de las mejores experiencias de la vida.

Gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULOS	PÁGINA.
DERECHOS DE AUTOR.....	ii
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE GRÁFICOS.....	xiv
LISTA DE ECUACIONES.....	xv
LISTA DE ANEXOS.....	xvi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xix
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
CERTIFICACIÓN.....	xxiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Condiciones climáticas del Ecuador.....	3
2.2. Cambio climático.....	4
2.2.1. Causas del cambio climático.....	4
2.2.2. Tendencia de la temperatura.....	5
2.2.3. Tendencia de la precipitación.....	7
2.2.4. Impacto del cambio climático en la agricultura.....	8
2.2.5. Medidas de adaptación de la agricultura al cambio climático.....	9
2.3. Agricultura de temporal.....	10
2.4. Cultivos.....	11

CAPÍTULOS	PÁGINA.
2.4.1. Cultivo de Maíz	11
2.4.2. Cultivo de Cebada.....	12
2.4.3. Cultivo de Papa.....	14
2.5. Influencia de los factores meteorológicos sobre los cultivos.....	14
2.5.1. Precipitación	15
2.5.2. Evaporación	15
2.6. Balance hídrico	16
2.6.1. Evapotranspiración de referencia (ET _o)	16
2.6.2. Evapotranspiración del cultivo (ET _c)	17
2.6.3. Coeficiente de cultivo K _c	17
2.6.4. Precipitación efectiva P _e	17
2.6.5. Láminas de agua en el suelo	17
2.6.6. Lámina de Agua Aprovechable	18
2.6.7. Lámina Neta.....	18
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Ubicación	19
3.1.1. Condiciones agroclimáticas	19
3.2. Materiales.....	20
3.2.1. Materiales de oficina	20
3.2.2. Información técnica.....	20
3.3. Metodología	21
3.4. Recopilación de datos climatológicos	21
3.5. Control de calidad de las series de datos	22
3.5.1. Visualización preliminar cualitativa	22
3.5.2. Relleno de datos faltantes y atípicos.....	22
3.5.3. Test de Independencia	22
3.5.4. Test de homogeneidad y de consistencia.	23

CAPÍTULOS	PÁGINA.
3.6. Análisis de las variables climatológicas.	23
3.7. Método estadístico de tendencias.	24
3.8. Fecha de siembra de mayor frecuencia.....	25
3.9. Balance hídrico	27
3.10. Fecha de siembra según el Balance hídrico.....	32
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. Variabilidad climatológica	33
4.1.1. Temperatura Mínima (Tmin)	33
4.1.2. Temperatura Máxima (Tmax).....	35
4.1.3. Humedad Relativa (HR)	37
4.1.4. Evaporación (Eo).....	39
4.1.5. Precipitación (P).....	41
4.2. Percepción de los agricultores al cambio climático	43
4.2.1. Información geográfica y muestral.....	43
4.2.2. Información general del agricultor.....	43
4.2.3. Datos socioeconómicos	44
4.2.4. Criterios sobre la percepción del cambio climático	44
4.3. Fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor	47
4.3.1. Fecha de siembra de mayor frecuencia para el cultivo de maíz	47
4.3.2. Fecha de siembra de mayor frecuencia para el cultivo de cebada	50
4.3.3. Fecha de siembra de mayor frecuencia cultivo de papa	53
4.4. Fecha de siembra según el balance hídrico.....	56
4.4.1. Cultivo de maíz	56
4.4.2. Cultivo de cebada	62
4.4.3. Cultivo de papa.....	68
V. CONCLUSIONES	73
VI. RECOMENDACIONES.....	74
VII. RESUMEN	75

CAPÍTULOS	PÁGINA.
VIII. ANEXOS.....	77
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	82

LISTA DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA.
1. Duración de las fases fenológicas y consumo de agua del cultivo de maíz.....	12
2. Duración de las fases fenológicas del cultivo de cebada.....	13
3. Duración de las fases fenológicas del cultivo de papa.	14
4. Condiciones agroclimáticas de la zona de investigación.....	20
5. Descripción detallada de la metodología.	21
6. Información geográfica de la estación meteorológica Tomalón- Tabacundo.....	22
7. Distribución muestral de la realización de encuestas.	26
8. Descripción de los escenarios.....	27
9. Duración de las etapas de desarrollo para los cultivos de maíz, cebada y papa (días).....	30
10. Valores del coeficiente único del cultivo Kc.	30
11. Resumen de la estadística descriptiva para Temperatura mínima.	34
12. Análisis de tendencia para Temperatura mínima 1992 – 2018. Método Mann Kendall.	35
13. Resumen de la estadística descriptiva para Temperatura máxima.	36
14. Análisis de tendencia para Temperatura máxima 1992 – 2018. Método Mann Kendall.....	37
15. Resumen de la estadística descriptiva para Humedad relativa.....	38
16. Análisis de tendencia para Humedad Relativa 1992 – 2018. Método Mann Kendall.	39
17. Resumen de la estadística descriptiva para Evaporación.....	40
18. Análisis de tendencia para Evaporación 1992 – 2018. Método Mann Kendall.....	41
19. Resumen de la estadística descriptiva para Precipitación.	42
20. Análisis de tendencia para Precipitación 1992 – 2018. Método Mann Kendall.....	43
21. Balance Hídrico para el cultivo de maíz en diferentes fechas de siembra	57
22. Balance Hídrico para el cultivo de cebada en diferentes fechas de siembra	63
23. Balance Hídrico para el cultivo de papa en diferentes fechas de siembra.....	69

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA.
1. Ubicación de la zona de estudio, área de influencia de la estación meteorológica Tomalón – Tabacundo	19
2. Temperatura mínima promedio. Serie de datos 1992 – 2018	33
3. Temperatura mínima promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018.....	34
4. Temperatura máxima promedio. Serie de datos 1992 – 2018.....	35
5. Temperatura máxima promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018.....	36
6. Humedad relativa promedio. Serie de datos 1992 – 2018.....	37
7. Humedad Relativa promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018	38
8. Evaporación promedio. Serie de datos 1992 – 2018.....	39
9. Evaporación promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018.....	40
10. Precipitación promedio. Serie de datos 1992 – 2018.	41
11. Precipitación promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018.....	42
12. Población: (a) Rango de edad de los agricultores de la zona; (b) nivel de escolaridad.	44
13. Situación sobre la propiedad de las UPAS en las cuales cultivan los agricultores.	44
14. Respuestas a las preguntas (a) ¿cree usted que existe el cambio climático?; (b) ¿ha notado la presencia del cambio climático?	45
15. Criterios sobre la percepción del cambio de la temperatura (a) y precipitación (b).	45
16. Principales causas por la que los agricultores creen que se da el cambio climático.	46
17. Principales afectaciones en los cultivos causadas por el cambio climático.	46
18. (a) criterios tomados en cuenta al momento de la siembra; (b) cambio en la fecha de siembra. .	47
19. Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de maíz.....	47
20. Razones por las cuales el agricultor decide sembrar maíz en dicha fecha.....	48
21. Superficie de la UPA destinada para el cultivo de maíz.	49
22. Variedades de maíz utilizadas por los agricultores de la zona.	49
23. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de maíz en un año húmedo.....	50

FIGURA	PÁGINA.
24. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de maíz en un año seco.	50
25. Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de cebada.	51
26. Razones por las cuales el agricultor decide sembrar cebada en dicha fecha.	51
27. Superficie de la UPA destinada para el cultivo de cebada.	52
28. Variedades de cebada utilizadas por los agricultores de la zona.	52
29. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de cebada en un año húmedo.	53
30. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de cebada en un año seco.	53
31. Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de papa.	54
32. Razones por las cuales el agricultor decide sembrar cebada en dicha fecha.	54
33. Superficie de la UPA destinada para el cultivo de papa.	55
34. Variedades de papa utilizadas por los agricultores de la zona.	55
35. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de papa en un año húmedo.	56
36. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de papa en un año seco.	56
37. Balance para el cultivo de maíz fecha se siembra 21 de noviembre.	58
38. Balance hídrico para la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor: 01 de septiembre.	59
39. Balance hídrico para la fecha de siembra 01 de febrero.	60
40. Balance hídrico para la fecha de siembra 14 de febrero.	61
41. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de febrero.	61
42. Comparación del Balance hídrico de la fecha de siembra del agricultor con las fechas de mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de maíz.	62
43. Balance hídrico para la fecha de siembra 01 de diciembre.	64
44. Balance hídrico para la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor: 07 de enero.	65
45. Balance hídrico para la fecha de siembra 14 de febrero.	66
46. Balance hídrico para la fecha de siembra 21 de febrero.	66
47. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de febrero.	67
48. Comparación del Balance hídrico de la fecha de siembra del agricultor, con las fechas de mayor disponibilidad hídrica.	67

FIGURA	PÁGINA.
49. Balance hídrico para la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor 01 de junio.	70
50. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de noviembre.	71
51. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de enero.	71
52. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de febrero.....	72
53. Comparación del Balance hídrico de la fecha de siembra del agricultor, con la fecha de mayor disponibilidad hídrica.	72

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO	PÁGINA.
1. Variación de la temperatura terrestre y oceánica a nivel mundial	6
2. Tendencia global de la temperatura evaluada en diferentes períodos de tiempo	6
3. Valores de cambio de precipitación del Ecuador, serie histórica 1960-2006	7
4. Influencia del cambio climático sobre la agricultura	8

LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN	PÁGINA.
1. Media aritmética ($\bar{X}$).....	23
2. Desviación estándar (S)	23
3. Coeficiente de variación (CV)	23
4. Test estadístico Mann Kendall.....	24
5. Varianza método Mann Kendall	25
6. Muestra poblacional (n)	26
7. Factor de posición (Fa)	28
8. Precipitación probable (P75 %)	28
9. Precipitación efectiva (Pe).....	28
10. Evapotranspiración de referencia (ETo).....	29
11. Coeficiente de cultivo (Kc).....	29
12. Evapotranspiración del cultivo (ETc)	30
13. Balance hídrico (BH)	30
14. Lámina de agua aprovechable (LAA)	31
15. Profundidad radicular efectiva (P_{re})	31
16. Lámina Neta (LN)	31

LISTA DE ANEXOS

ANEXOS	PÁGINA.
Anexo 1. Encuesta.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS

CDKN	Alianza de conocimiento sobre clima y desarrollo
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
DPA	División Política Administrativa de la República del Ecuador
ESPAC	Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FIRA	Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura
FIT	Frente intertropical
FORECCSA	Fortalecimiento de la Resiliencia de las Comunidades ante los efectos adversos del Cambio Climático con énfasis en Seguridad Alimentaria
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GEI	Gases de Efecto Invernadero
ha	Hectárea
IEE	Instituto Espacial Ecuatoriano
IGM	Instituto Geográfico Militar
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INIA	Instituto de Investigaciones Agropecuarias Chile
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
Máx	Máxima
Mín	Mínima
mm	Milímetro
MMA	Ministerio del Medio Ambiente Gobierno de Chile
N ₂ O	Óxido Nitroso
OMM	Organización Meteorológica Mundial

LISTA DE ABREVIATURAS

PDOT	Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial
PEA	Población Económicamente Activa
SIPA	Sistema de Información Pública Agropecuaria
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
UPA	Unidad de Producción Agropecuaria
UPA	Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Unidad	Descripción
BH	mm día ⁻¹	Balance Hídrico
CC	%	Capacidad de Campo
CV	%	Coeficiente de Variación
Eo	mm día ⁻¹	Evaporación
ETr	mm día ⁻¹	Evapotranspiración
ETc aj	mm día ⁻¹	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar
ETc	mm día ⁻¹	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar
ETo	mm día ⁻¹	Evapotranspiración de referencia
HR	%	Humedad Relativa
Kc	Día	Coeficiente de Cultivo
LAA	mm	Lámina de Agua Aprovechable
N	-	Muestra poblacional
N	-	Tamaño de la población
P	mm día ⁻¹	Precipitación
P75%	mm mes ⁻¹	Precipitación probable del 75 %
Pe	mm día ⁻¹	Precipitación efectiva
P _{re}	mm	Profundidad radicular efectiva

Símbolo	Unidad	Descripción
P_{rt}	mm	Profundidad radicular total
S	-	Desviación Estándar
S^2	-	Varianza
$t\ ha^{-1}$	-	Tonelada por hectárea
Tmax	°C	Temperatura Máxima
Tmin	°C	Temperatura Mínima
$\bar{X}$	-	Media Aritmética

TÍTULO: Determinación de las fechas de siembra al temporal mediante el balance hídrico para tres cultivos en Tabacundo.

Autor: Álvaro Lenin Rea Vásquez

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

Una de las principales medidas de adaptación de la agricultura al cambio climático es el estudio y análisis de las fechas de siembra para aprovechar al máximo las precipitaciones en la producción de cultivos. El objetivo de la investigación fue determinar las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica para los cultivos de ciclo corto (maíz, cebada y papa), a través del balance hídrico en la parroquia Tabacundo. Se analizó la variación climatológica, se realizó encuestas para determinar la fecha de siembra de mayor frecuencia utilizada por los agricultores y se realizó el balance hídrico para 35 fechas de siembra. Los resultados obtenidos fueron: i) T_{min} y P no registraron ninguna tendencia, T_{max} registró una tendencia positiva, HR y E_o registraron tendencias negativas; ii) la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor para el cultivo de maíz fue septiembre, para el cultivo de cebada fue enero y para el cultivo de papa fue junio; iii) las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica para los cultivos de maíz y cebada se presentaron en el mes de febrero y para el cultivo de papa en los meses de noviembre, enero y febrero. En conclusión: i) existe una tendencia negativa (descenso) para T_{max} , HR y E_o ; ii) las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica son diferentes de las fechas de siembra utilizadas por los agricultores con mayor frecuencia.

PALABRAS CLAVE: AGRICULTURA DE TEMPORAL / VARIABILIDAD DEL CLIMA / BALANCE HÍDRICO / FECHAS DE SIEMBRA / EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL.

TITLE: Determination of planting dates through the water balance for three crops in Tabacundo.

Author: Álvaro Lenin Rea Vásquez

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

One of the measures for adaptation of the agriculture to the climate change is the analysis of planting dates through water balances to maximize the usage of the rainfall for crop production purposes. The research was conducted to determine the planting dates with the highest water availability for three crops (maize, barley and potatoes) in Tabacundo. The variation of some climatological variables was analyzed, some surveys were done to determine the most frequent planting date used by the farmers as well as the water balance was done for 35 planting dates. The main results were: i) T_{min} and P did not presented any trend, T_{max} had a positive trend, HR and E_o negative trends; ii) the farmer's most frequent planting dates for the maize crop was September, for the barley crop it was January and for the potato crop, June; iii) the planting dates with the highest water availability for maize and barley crops were February and for potato November, January and February. In conclusion: i) there is a negative trend (decrease) for T_{max} , HR and E_o ; ii) the planting dates with the highest water availability are different from the planting dates used by the farmers.

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

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de graduación cuyo título es **“Determinación de las fechas de siembra al temporal mediante el balance hídrico para tres cultivos en Tabacundo”** presentado por el **Señor Álvaro Lenin Rea Vásquez**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo, 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 aquella que se desarrolla en condiciones donde no existe ningún tipo de irrigación, depende totalmente de la cantidad de lluvia distribuida durante el ciclo del cultivo para tener una buena o mala producción, dependiendo de la cantidad de agua aprovechada por los cultivos (Escobar, 2014). Los agricultores de temporal por lo general esperan la época lluviosa del año para realizar la siembra de sus cultivos y aspiran que esta sea lo suficientemente abundante para satisfacer los requerimientos hídricos de los cultivos. Según datos de la FAO (2011), el 60% de producción agrícola total a nivel mundial se obtiene de sistemas de producción bajo agricultura de temporal.

Según información obtenida a partir del mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental, elaborado por SIGTIERRAS (2015), aproximadamente 6.7 millones de hectáreas del territorio nacional están siendo utilizadas para algún tipo de actividad agrícola correspondiente a cultivo anual, semipermanente y permanente, de las cuales tan solo el 18.46% (1 230 325.13 ha) disponen de riego, siendo el 82% de la superficie restante (5 279 972.7 ha) dedicada a la agricultura de temporal, en función de la estacionalidad y distribución anual de la precipitación, en donde la única fuente de abastecimiento de agua es la lluvia, la cual en ciertos casos puede llegar a ser excesiva y causar daños en las cosechas o todo lo contrario, ser muy escasa, causando pérdidas por reducciones significativas en el rendimiento de los cultivos (Abel, 2013).

Las actividades agrícolas dependen en gran medida de las condiciones climáticas, las cuales de alguna manera han mantenido cierto grado de estabilidad sobre todo si se habla de la estacionalidad de las épocas de lluvia, sin embargo, debido a la variación climática, la dinámica atmosférica se ha modificado en las últimas décadas, observándose cambios en los componentes del ciclo hidrológico como son la evapotranspiración y precipitación (Ojeda *et al.*, 2011). De igual manera, según el estudio realizado por el Panel Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, en su informe IPCC (2001), la temperatura del aire registra un incremento de 0.65 (°C) en el último siglo. Estos cambios generan en los agricultores un alto grado de incertidumbre al momento de decidir la época más adecuada para la siembra de sus cultivos. Bajo este contexto, se puede notar que las comunidades indígenas y rurales que realizan agricultura de pequeña escala y que menos contribuyen con la variación del clima, son las que más sufren las consecuencias, se estima que entre el 70 y 80% de la producción mundial de alimentos está en manos de los pequeños agricultores, los cuales disponen de tierras menores a 2 ha de superficie, estos pequeños agricultores se encuentran bajo una incertidumbre climática sobre todo en la estacionalidad de la temperatura y precipitación (Kassam *et al.*, 2018).

La parroquia Tabacundo se encuentra ubicada en el Cantón Pedro Moncayo de la Provincia de Pichincha, esta parroquia concentra la mayor cantidad de la población económicamente activa (PEA) del cantón (58%), la cual se dedica principalmente a la agricultura (GAD Pedro Moncayo, 2015). Los

principales cultivos de ciclo corto de la parroquia son: maíz (509.55 ha), cebada (194.27 ha) y papa (53.20 ha), de las cuales, 334.3 ha (maíz), 65.3 ha (cebada) y 53.2 ha (papa) no disponen de riego por lo que realizan una agricultura de temporal (SIGTIERRAS, 2015).

Según el Proyecto de Fortalecimiento de la Resiliencia de las Comunidades ante los Efectos Adversos del Cambio Climático con énfasis en Seguridad Alimentaria y Enfoque de Género FORECCSA (2013), citado por el GAD Pedro Moncayo (2016), el cambio climático es la principal amenaza para las áreas productivas del cantón, entre las cuales se encuentra la sequía y ventarrones para las parroquias Tupigachi, Tocachi, y Malchinguí, las granizadas para la Esperanza y las sequías y heladas para Tabacundo.

Los impactos de la variación del clima sobre la agricultura conllevan a la necesidad de buscar medidas que ayuden a la adaptación y mitigación de los efectos de dicha variación, para de esta manera garantizar la seguridad alimentaria de la población así como sus bienes, ecosistemas y servicios (Magrin, 2015). La producción agrícola en el Ecuador cubre el 95% de la demanda interna de alimentos consumidos por la población, asegurando uno de los pilares más importantes de la seguridad alimentaria del país (Pino & Aguilar, 2018).

Por lo que resulta de vital importancia la realización de estudios que generen información precisa e inmediata sobre el tiempo atmosférico, el clima y los recursos hídricos, para que los agricultores locales utilicen dicha información para mejorar la producción de sus cultivos, mediante la planificación de fechas de siembra y cosecha (Olivares, 2018).

Tal es el caso del estudio realizado por Limaico (2019), en el cual se determinó que las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica para tres cultivos de ciclo corto (fréjol, maíz y papa) en la parroquia Tumbaco, provincia de Pichincha, fueron diferentes a las fechas comúnmente utilizadas por los agricultores de la zona, debido a que los agricultores mantienen dichas fechas de siembra por tradición.

El objetivo general de la presente investigación fue determinar las fechas de siembra al temporal mediante el balance hídrico para los cultivos de maíz, cebada y papa en la Parroquia Tabacundo, Cantón Pedro Moncayo, Provincia de Pichincha. Los objetivos específicos fueron: i) determinar la variación climatológica en la estación agrometeorológica Tomalón – Tabacundo; ii) determinar la fecha de siembra de mayor frecuencia para los cultivos de maíz, cebada y papa comúnmente utilizadas por los agricultores de la zona; iii) determinar las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica para los cultivos de maíz, cebada y papa.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Condiciones climáticas del Ecuador

El Ecuador debido a su ubicación geográfica está directamente influenciado por el frente intertropical (FIT) o también conocido como zona de convergencia intertropical, el cual influye sobre la mayor parte del país, con dos tipos de masas de aire continental, la primera ocurre desde mayo-junio hasta septiembre-octubre con características de aire seco relativamente fresco, la segunda en el resto del año y tiene características de aire húmedo y caliente. Estas masas de aire son las que definen las condiciones climáticas del Ecuador en diferentes formas de acuerdo con sus tres grandes regiones: Costa, Sierra y Oriente (Winckell *et al.*, 1997). En la región costanera del país, la influencia del FIT permanece constante durante todo el año, provocando una sola estación lluviosa, la cual presenta su límite más alto en el mes de marzo.

Además, el clima en esta región está directamente influenciado por dos tipos de corrientes marinas, la primera es conocida como la corriente cálida de El niño la cual se origina desde el norte (Golfo de Panamá) y llega a nuestro país durante los meses de diciembre a mayo provocando precipitaciones. La segunda es la opuesta conocida como corriente fría de Humboldt la cual proviene desde el Sur y llega al país en los meses de junio hasta noviembre causando una estación seca durante ese período de tiempo (Winckell *et al.*, 1997). Cabe destacar que existen casos en los cuales dichas corrientes presentan irregularidades provocando precipitaciones bajas o sequías cuando la corriente fría de Humboldt impide a la corriente cálida El niño llegar a las costas ecuatorianas o por el contrario, precipitaciones elevadas o inundaciones cuando la corriente cálida El niño se mantiene de forma prolongada mejor conocido como el “fenómeno de El niño”.

En la región interandina o sierra, la dinámica del FIT cruza dos veces al año la línea ecuatorial provocando un período de lluvias, por lo tanto, en la región se presentan dos estaciones húmedas separadas por dos estaciones secas, la primera estación húmeda se da desde el mes de marzo hasta junio debido al ascenso del FIT hacia el norte, y la segunda estación húmeda se da desde el mes de octubre hasta diciembre debido al movimiento del FIT hacia el Sur (Winckell *et al.*, 1997).

La región amazónica está fuertemente influenciada por la presencia de una gran masa de aire húmedo y caliente, la cual suspende totalmente la influencia del FIT, por lo tanto, en esta región se presenta constantemente un régimen de precipitaciones uniformes, con un límite máximo en los meses de junio y julio (Winckell *et al.*, 1997).

2.2. Cambio climático

Para entender la definición de cambio climático, previamente se tiene que diferenciar dos conceptos que están estrechamente relacionados, pero son muy diferentes, es el caso del clima y tiempo atmosférico.

Se entiende por clima al conjunto de fenómenos atmosféricos meteorológicos como precipitación, temperatura, humedad relativa, viento, radiación, etc., dados en una región específica del planeta, los cuales han sido observados durante largos períodos de tiempo y caracterizan las condiciones climatológicas de dicha región (MMA, 2017). Por otra parte, el tiempo atmosférico hace referencia al estado actual de la atmósfera observado en un período corto de tiempo como día, semana o mes y se caracteriza por la humedad, temperatura, precipitación, presión atmosférica en un lugar específico.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático en su artículo número uno UNFCCC (1992), menciona que el cambio climático es una modificación del clima provocada de manera directa o indirecta por las actividades antrópicas, las cuales han causado la alteración de la composición de la atmósfera a nivel mundial, a lo que se suma la variación natural del clima que puede ser observada durante espacios de tiempo comparables.

Para el Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático IPCC (2001), el “cambio climático” resulta de una gran modificación en la tendencia estadística del estado climático, la cual se mantiene durante un largo período de tiempo normalmente décadas o más. Dicha variación climática puede ser causada por procesos atmosféricos naturales o por cambios en la composición de la atmósfera debido a procesos antropogénicos.

2.2.1. Causas del cambio climático

El cambio climático a nivel global puede tener varias causas sean estas de origen natural o debido a las actividades humanas, sin embargo, el acelerado proceso de cambio climático que se percibe en la actualidad se atribuye principalmente a la actividad humana, lo cual se sustenta científicamente en los diferentes informes publicados por el IPCC (Rodríguez, 2009).

Debido al incremento exponencial de la población a nivel mundial, el sector industrial también se ha visto en la obligación de expandirse y desarrollarse, con el objetivo de satisfacer las necesidades de la población en aumento. Este crecimiento industrial genera actividades humanas como la quema de combustibles fósiles, deforestación, cambio de uso de suelo, granjas agropecuarias, pozos petroleros, etc. Las cuales han sido la principal causa del aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), tales como: CO₂ (Dióxido de Carbono), CH₄ (Metano) y N₂O (Óxido Nitroso). Aproximadamente el 78% de las emisiones de GEI registradas entre 1970 y 2010, se deben principalmente a la quema de combustibles fósiles relacionada con procesos industriales (IPCC, 2014).

El nivel de concentración CO₂ en la atmósfera a nivel mundial se ha incrementado a partir de la época industrial, de 280 partes por millón (ppm) a 387 ppm en el 2009, dicha concentración ha superado el límite natural de concentración de este gas en los últimos 600 000 años, el cual se encontraba entre 180 a 300 ppm. Dicha concentración elevada de dióxido de carbono no puede ser capturada en su totalidad por los sumideros naturales como bosques (Rodríguez, 2009).

Los GEI actúan como receptores de la radiación solar acumulada durante todas las horas de luz, es decir, que no permiten la salida normal de la radiación de onda larga, por lo tanto se genera en toda la superficie terrestre un efecto de calentamiento gradual (Samaniego *et al.*, 2015).

Las actividades agropecuarias a gran escala, han sido una de las principales causantes del cambio climático debido al uso de insumos derivados del petróleo, así como plaguicidas y fertilizantes de síntesis química, también se sabe que la quema indiscriminada de biomasa es una práctica muy realizada en la agricultura y es la causante de emisiones altas de óxido nitroso (N₂O) considerado como uno de los principales GEI (MMA, 2017).

El incremento de la temperatura y la variación de la precipitación han sido los principales factores de la variación del clima percibidos por los agricultores, varios estudios lo demuestran como el realizado por Sánchez (2017), donde los habitantes de una comunidad de agricultores mexicanos encuestados percibieron un incremento en la temperatura local, así como una prolongación de días calurosos, la percepción de la precipitación refleja temporadas de lluvia impredecibles, así como un incremento de la misma en los últimos años. De igual manera el estudio realizado por Córdova *et al.* (2019), donde se realizó encuestas a los agricultores convencionales del pueblo indígena Kayambi, los cuales percibieron incrementos claramente marcados en cuanto a la temperatura, así como reducciones importantes de la precipitación durante la última década.

2.2.2. Tendencia de la temperatura

Según el Panel Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático, en su informe IPCC (2001), asegura que la temperatura a nivel global ha registrado un incremento de 0.65 °C desde finales del siglo XIX (Gráfico 1), sin embargo, en el quinto informe de evaluación del IPCC (publicado en el 2013), el incremento de la temperatura de la superficie terrestre ha sido de 0.85 °C, con una tasa de incremento de 0.2 °C por cada década (IPCC, 2013).

También se evidencia un incremento de la temperatura media del aire superficial, lo que provoca temperaturas máximas más fuertes y temperaturas mínimas extremas menos frecuentes. Dicho aumento de la temperatura media superficial, sumado a un incremento en la humedad relativa de la superficie, provocan aumentos muy percibidos del índice de calor, el cual es una medida de los efectos fusionados de la temperatura y humedad (IPCC, 2001).

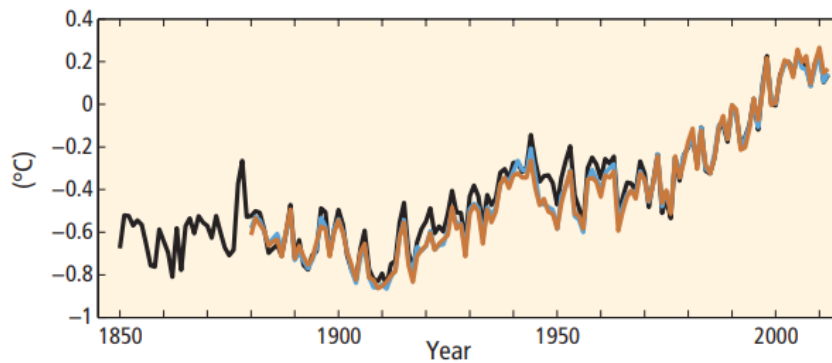


Gráfico 1. Variación de la temperatura terrestre y oceánica a nivel mundial

Fuente: (IPCC, 2014)

En el Gráfico 2 se observa claramente la tendencia de la temperatura superficial a nivel global, evaluada en diferentes períodos de tiempo, las tendencias están representadas con círculos de diferentes tamaños, el color azul representa disminuciones y el rojo aumentos de la temperatura, es muy preocupante la observación que se realizó en el período 1976 - 2000, en donde se puede notar en gran medida una tendencia de incremento de temperatura que va desde 0.2 a 1 °C por década.

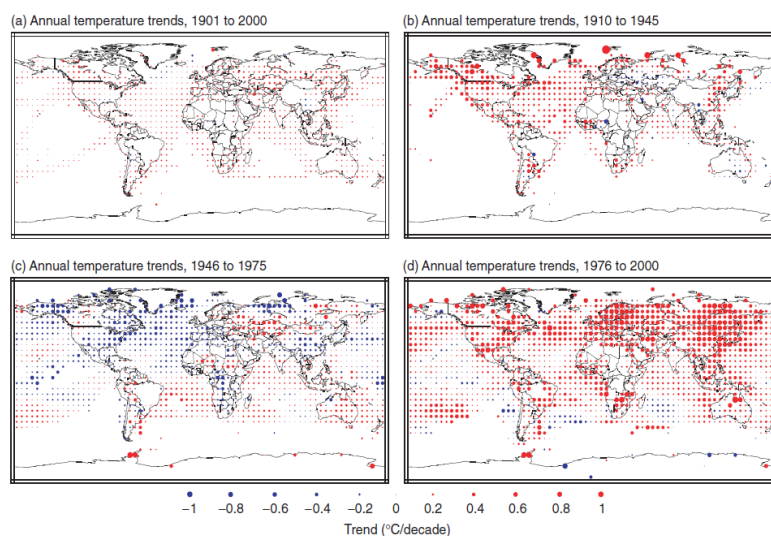


Gráfico 2. Tendencia global de la temperatura evaluada en diferentes períodos de tiempo:

a) 1901-2000; b) 1910-1945; c) 1946-1975; d) 1976-2000.

Fuente: (IPCC, 2001)

A nivel de América Latina, el incremento de temperatura registrado desde la década de los setenta, oscila en un intervalo de 0.7 a 1 °C excepto para el perfil costanero de Chile, el cual registró un descenso de 1 °C (CDKN, 2014).

En el estudio realizado por Cáceres *et al.* (2014), se analizó la tendencia tanto de temperatura como precipitación asociada con el cambio climático específicamente para el Ecuador, concluye que se

confirma una tendencia creciente para la temperatura media así como para las temperaturas extremas.

En cuanto a las predicciones de temperatura para el año 2100, para la temperatura en América Latina se analizan 2 escenarios: primero con emisiones de GEI medias a altas se espera un aumento de la temperatura entre 1.7 y 6.7 °C, además de un aumento de días y noches más cálidas; segundo , en el cual las emisiones son bajas, el aumento de temperatura estará entre 1.0 y 1.5 °C (CDKN, 2014).

2.2.3. Tendencia de la precipitación

De igual forma, la información recopilada para entender la perspectiva de la tendencia de la precipitación fue obtenida de IPCC (2001), donde se menciona que los promedios de precipitación, vapor de agua y evaporación a nivel mundial están incrementándose, también se dice que en la mayoría de áreas correspondientes a la zona tropical, la precipitación media ha aumentado, contrario a lo que sucede en las zonas subtropicales, donde se evidencia una disminución de la precipitación media.

La tendencia de la precipitación en el Ecuador registrada desde la década de los 60, indica un incremento sobre todo en la parte central de la región Costa, así como, una disminución general en toda la región Amazónica y en las provincias del norte de la región Sierra (Gráfico 3).

En promedio, el incremento de la precipitación para la región costa fue de 33% y un 8% para la región Sierra (Cáceres & Núñez, 2011).

Predicciones realizadas por Bates & Kundzewicz (2008), aseguran un incremento de un 20% de la precipitación en la región pacífico ecuatorial. Cabe recalcar que una predicción precisa para una localidad específica es muy difícil de realizar.

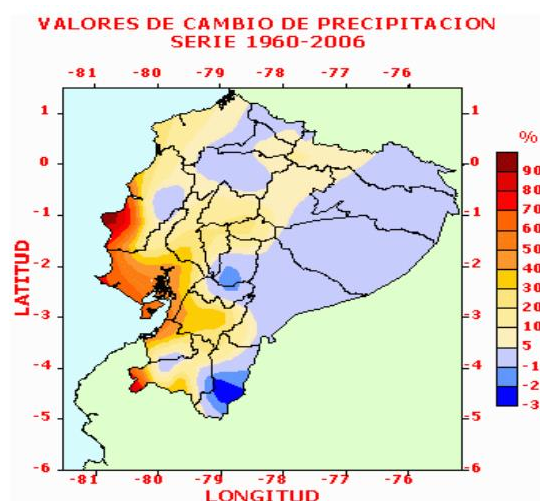


Gráfico 3. Valores de cambio de precipitación del Ecuador, serie histórica 1960-2006

Fuente: (Samaniego *et al.*, 2015)

2.2.4. Impacto del cambio climático en la agricultura

La agricultura es el sector más afectado por el cambio climático (Muñoz, 2007), debido a que es una actividad totalmente dependiente de las condiciones ambientales como son la precipitación, la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar, la velocidad del viento, entre otras, ya que los cultivos necesitan ciertas condiciones edafoclimáticas específicas para su adecuado desarrollo y su potencial máximo de producción.

Los países de América Latina y el Caribe serán aquellos en donde el impacto del cambio climático será más fuerte y evidente, debido a que sus economías dependen en gran parte del sector agrícola y la explotación de recursos naturales (Magrin, 2015).

Según Nelson *et al.* (2009), los impactos del cambio climático en la agricultura son los siguientes:

1. Efectos biológicos en el rendimiento de los cultivos.
2. Las consecuencias del impacto sobre los resultados, incluyendo precios, producción y consumo.
3. Los impactos sobre el consumo per cápita de calorías y la mal nutrición infantil.

La alteración de los factores abióticos, como la temperatura y la precipitación, será una de las causas principales que afecten la producción agrícola, debido a que estos factores están directamente relacionados con las fases fenológicas de los cultivos, la alteración de estos factores como por ejemplo la exposición a temperaturas fuera del intervalo normal, así como el déficit hídrico debido a un cambio en la distribución normal de las precipitaciones, causará desórdenes fisiológicos en los cultivos (Erreis, 2015).

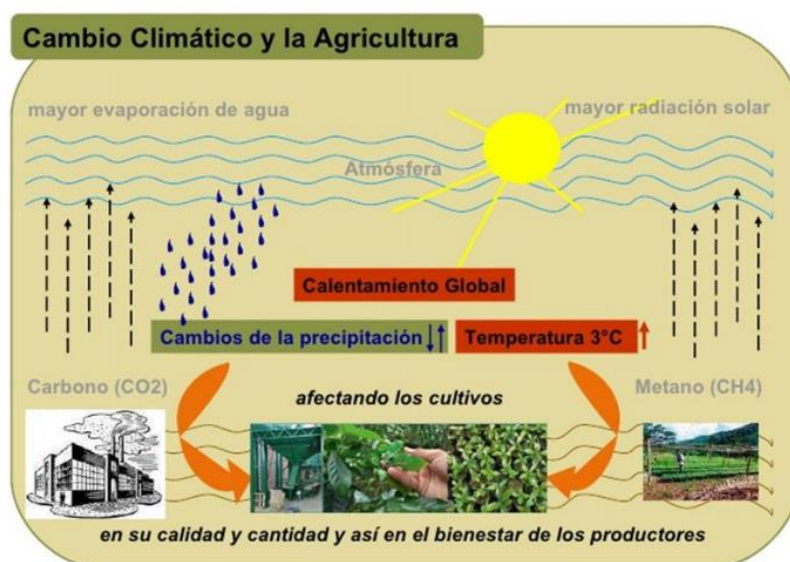


Gráfico 4. Influencia del cambio climático sobre la agricultura

Fuente: (Badillo, 2018)

En la región andina sudamericana, los impactos del cambio climático sobre el sector agrícola serán evidenciados sobre todo en la reducción del rendimiento de los cultivos básicos como maíz, papa, trigo y cebada, los cuales cumplen un papel fundamental en la seguridad alimentaria de la región. En Perú, Colombia y Ecuador se espera una reducción bastante significativa del rendimiento de los cultivos: maíz, papa, fréjol, yuca y plátano (Magrin, 2015).

Muñoz (2007), estima que para el año 2030 en el Ecuador, bajo un escenario totalmente negativo, la población estimada para dicho año, generará una altísima presión sobre el abastecimiento de los principales productos agrícolas consumidos como papa y arroz, los cuales tendrán un déficit del 34% y 64% respectivamente.

Debido al cambio en la distribución temporal de las precipitaciones, causado por el cambio climático, los agricultores que realizan sus actividades agrícolas bajo la modalidad de agricultura al temporal tendrán que cambiar sus fechas de siembra y adaptar la curva de necesidades hídricas del cultivo con la curva de distribución de la precipitación, y de esta manera evitar la reducción de la producción de sus cultivos causada por un déficit hídrico. En el estudio realizado por Abel (2013), se concluye que la agricultura de temporal es la que más sufre las consecuencias del cambio climático actualmente y a futuro, debido a que depende principalmente de la precipitación pluvial y la temperatura, las cuales son variables que inciden directamente en la producción.

2.2.5. Medidas de adaptación de la agricultura al cambio climático

Los impactos del cambio climático sobre la agricultura, conllevan a la necesidad de buscar medidas que ayuden a la adaptación y mitigación de los efectos del mismo, para de esta manera garantizar la seguridad alimentaria de la población así como sus bienes, ecosistemas y servicios (Magrin, 2015).

Luego de saber cuáles son los principales impactos del cambio climático sobre la agricultura, así como la necesidad urgente de tomar cartas en el asunto para establecer medidas de adaptación, es de gran importancia conocer cuáles son las prácticas que se pueden realizar en campo para reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción agrícola frente al cambio climático (Hinkel *et al.*, 2013). Según Singh (2009), las medidas de adaptación son cambios o modificaciones que se realizan dentro de los sistemas de producción agrícola con la finalidad de sobrellevar de manera exitosa los efectos causados por el cambio climático. Una de las principales medidas de adaptación que pueden realizar los agricultores es el cambio en las fechas de siembra.

También se pueden mencionar algunos ejemplos específicos sobre medidas de adaptación sugeridas por Fernández (2013): adaptación de las fechas de siembra para los cultivos de maíz y trigo en la provincia de la Pampa Argentina; modificación de las fechas de siembra de soya y maíz en la región sur de Brasil y en Uruguay, las cuales servirán para reducir los efectos del cambio climático. Como se

puede notar, una de las estrategias más utilizadas como medida de adaptación al cambio climático, es el cambio en las fechas de siembra, ya que de esta manera se puede lograr la reducción de las pérdidas en las cosechas. A continuación, se presentará una lista de las principales medidas de adaptación que pueden ser adoptadas por los agricultores que no disponen de riego complementario en sus cultivos, es decir que dependen únicamente de las precipitaciones para realizar sus actividades agrícolas:

- Modificación de las fechas de siembra
- Combinación de variedades precoces (ciclo corto) con variedades de ciclo largo
- Diversificación de cultivos
- Rotación de cultivos
- Uso de variedades con tolerancia a la sequía
- Uso de variedades resistentes a plagas y enfermedades
- Plantación de cortinas rompe vientos sobre todo en los linderos de la propiedad
- Reducir progresivamente la labranza
- Siembra directa
- Mantener al suelo siempre cubierto
- Curvas de nivel y terrazas

Fuente: (UPA, 2018)

2.3. Agricultura de temporal

La agricultura de temporal hace referencia a un tipo de sistema de producción agrícola en el cual el requerimiento hídrico del cultivo es cubierto únicamente por el agua proveniente de la lluvia almacenada en el suelo durante el ciclo vegetativo del cultivo. En este tipo de agricultura es muy importante tomar en cuenta la capacidad que tiene el suelo para retener la humedad, así como la distribución anual de la precipitación en la localidad, debido a que en muchos casos la agricultura de temporal se ve desfavorecida por un retraso en la época lluviosa, causando déficit hídrico o por el contrario un exceso de las precipitaciones, causando problemas de humedad (Escobar, 2014).

Cabe destacar que existe una confusión en cuanto a los términos utilizados para este tipo de agricultura, debido a que suele decirse que la agricultura de temporal y agricultura de secano es absolutamente lo mismo, pero según Escobar (2014), son conceptos distintos pero comparten algo en común, ambos tipos de agricultura dependen totalmente de la precipitación pluvial, la diferencia entre aquellos es la cantidad de precipitación recibida durante el ciclo de cultivo, para el caso de agricultura de temporal esta es la suficiente para la producción, mientras que para la agricultura de secano la cantidad de lluvia no es suficiente para alcanzar una adecuada producción, por lo que esta última se realiza en lugares áridos y con muy poca humedad.

Como se mencionó anteriormente, la humedad en el suelo es uno de los factores más importantes en el desarrollo y crecimiento de los cultivos, sobre todo cuando estos se manejan bajo el esquema de agricultura de temporal, en donde la lluvia es la única fuente de abastecimiento de agua durante todo el ciclo del cultivo. El problema radica en la variabilidad que tiene la distribución espacio temporal de la precipitación en una determinada localidad, la cual no permite tomar a las lluvias como un indicador que permita evaluar la disponibilidad de agua en el suelo, por lo tanto, se recomienda en estos casos la realización del balance hídrico de los cultivos, para lograr cuantificar la disponibilidad de humedad en la zona radicular de las plantas (Flores & Ruíz, 1998). La agricultura de temporal se encuentra actualmente muy expuesta al cambio climático, por lo que resulta indispensable utilizar nuevas tecnologías que permitan a los agricultores del país que no disponen de riego, optimizar al máximo los recursos hídricos para lograr satisfacer la gran demanda de alimentos generada por la población a nivel nacional (Sidibé *et al.*, 2018).

2.4. Cultivos

2.4.1. Cultivo de Maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los principales cereales que más se cultiva a nivel mundial después del trigo y el arroz, debido a que es una gran fuente nutritiva para la alimentación humana, además se lo utiliza como fuente de carbohidratos para la elaboración de alimentos balanceados destinados a la nutrición de animales de granja y sirve de materia prima para la transformación industrial de alimentos procesados (Bressani, 1993). La producción a nivel mundial de maíz para el período 2016 -2017 fue de 1 025.0 millones de toneladas, sembradas en 180 millones de hectáreas, siendo Estados Unidos, China, Brasil, Unión Europea, Ucrania y Argentina los principales países productores. El rendimiento promedio a nivel mundial se encuentra en 5.69 t ha^{-1} (FIRA, 2016).

En el Ecuador se cultivan dos tipos de maíz, el amarillo duro que se concentra en el litoral y el suave o choclo que se distribuye a lo largo de la sierra, los cuales registran un rendimiento de 5.93 t ha^{-1} para el maíz duro y 3.36 t ha^{-1} para el maíz suave (SIPA, 2018). La superficie total sembrada de maíz en Ecuador es de 635 564.31 ha de las cuales 585 688.09 (92%) se las cultiva bajo agricultura de temporal (SIGTIERRAS, 2015).

En la parroquia Tabacundo perteneciente a la provincia de Pichincha, la superficie sembrada de maíz es de 509.55 ha de las cuales 334 ha (65.60%) no disponen de riego (SIGTIERRAS, 2015).

El tiempo del ciclo de cultivo, así como la duración entre etapas fenológicas, puede variar de acuerdo con diferentes factores como: la variedad, la época de siembra y las condiciones climáticas presentes en el lugar. Por lo general, las variedades sembradas en la sierra ecuatoriana suelen tener un ciclo de duración que va desde los 215 a los 270 días (Yáñez *et al.*, 2013). Las fechas de siembra en la región

Sierra por lo general empiezan desde septiembre y se extienden hasta mediados de enero, dependiendo de la distribución temporal de la precipitación (Yáñez *et al.*, 2013).

Cuadro 1. Duración de las fases fenológicas y consumo de agua del cultivo de maíz.

FASE FENOLOGICA	DURACIÓN (DÍAS)	CONSUMO DE AGUA (mm)	CONSUMO DE AGUA (m ³ ha ⁻¹)
Siembra	0 - 3		
Germinación	5 - 7	40.5	405
Desarrollo vegetativo			
Etapa I	25 - 30		
Etapa II	40 - 45	81.6	816
Etapa III	55 - 60		
Floración	90 - 120	122.4	1224
Maduración	125 - 210	118.8	1188
Cosecha	215 - 270	0	0

Fuente: (Yáñez *et al.*, 2013; Yanangómez, 2018)

Los requerimientos de agua para este cultivo se presentan de acuerdo con la fase fenológica en la que se encuentra, registrándose valores promedio que van de 4.8 a 5.4 mm día⁻¹. La etapa fenológica que más demanda de agua requiere es la floración, por lo que es a la que más atención se le debe prestar, ya que el rendimiento puede reducirse hasta en un 22% si existe un déficit de uno o dos días (Ospina, 2015). Por lo general, el maíz necesita entre 500 y 700 mm de precipitación distribuidos uniformemente a lo largo del ciclo vegetativo del cultivo (Deras, 2012).

2.4.2. Cultivo de Cebada

La cebada (*Hordeum vulgare* L.) es uno de los cereales que más se cultiva en el mundo, ocupando el cuarto lugar, después del trigo, arroz y maíz; 70 millones de hectáreas en el mundo son destinadas para la producción de este cereal, con una producción aproximada de 160 millones de toneladas, de las cuales 26 millones de toneladas (18%) provienen de los países en desarrollo. El grano de cebada es comúnmente utilizado como alimento para animales, malta y para consumo humano (Taner *et al.*, 2004).

En el Ecuador, la cebada es uno de los más importantes cultivos de la Sierra, con una superficie total sembrada de 12 995.32 ha, de las cuales 10 516.95 ha (81%) no disponen de riego, realizándose las actividades bajo el concepto de agricultura de temporal (SIGTIERRAS, 2015). El rendimiento promedio registrado a nivel nacional es de 1.44 t ha⁻¹ (SIPA, 2018).

Para la parroquia Tabacundo, la superficie cultivada de cebada es de 194.27 ha, de las cuales 65.27 ha (33.59%) no disponen de riego (SIGTIERRAS, 2015).

La cebada requiere una precipitación de 400 a 600 mm distribuidos durante todo el ciclo de cultivo (INIAP, 2014). Las épocas de siembra más adecuadas para el cultivo de cebada comprenden los meses de enero a marzo, para lo cual se debe tratar de coincidir la época de cosecha con el período seco de año (Tola, 1972).

El cultivo de cebada para la elaboración de malta se realiza principalmente al temporal, las características del grano deben cumplir con estándares de calidad industrial, los cuales dependen de factores como manejo del cultivo, características del suelo y una adecuada distribución de la precipitación, además requiere de variedades que tengan buenas características genéticas. La mayoría de estos factores son fácilmente controlables como el caso de las variedades y el manejo del cultivo, sin embargo, factores como las características del suelo y distribución de las lluvias son factores que no se pueden controlar y resultan definitivos al momento de obtener buenos rendimientos (Gómez *et al.*, 2009).

Cuadro 2. Duración de las fases fenológicas del cultivo de cebada.

FASE FENOLÓGICA	DURACIÓN (DÍAS)
Siembra y germinación	0 – 8
Desarrollo y macollamiento	12 – 70
Espigado y llenado de los granos	80 – 160
Madurez	165 – 180

Fuente: (Peñaherrera, 2011).

En cuanto a los requerimientos hídricos del cultivo de cebada, se puede decir que varían de acuerdo con la etapa fenológica en la que se encuentra. Durante las primeras etapas (Germinación y Desarrollo), el requerimiento de humedad es constante, 15 días previo a la etapa de floración, es cuando más humedad necesita el cultivo para que se dé un adecuado llenado de los granos. Finalmente, la cantidad de agua que necesita se reduce en las últimas etapas (Maduración y Secado) (Peñaherrera, 2011). Se estima que el cultivo de cebada necesita aproximadamente 377 mm de agua durante todo el ciclo biológico (Villanueva *et al.*, 2001)

2.4.3. Cultivo de Papa

La papa (*Solanum tuberosum*) se cultiva en más de 100 países, debido a que se constituye como el alimento básico de los países desarrollados. La producción de papa a nivel mundial alcanza las 290 millones de toneladas cultivadas en un área de 13.85 millones de ha (Román & Hurtado, 2002).

En el Ecuador, la superficie total cultivada de papa es de 33 983.19 ha, de las cuales 26 205 ha (77%) no disponen de riego (SIGTIERRAS, 2015), el rendimiento promedio de papa en el país se encuentra en 16.28 t ha⁻¹ (SIPA, 2018). Las principales zonas productoras del país, se han dividido en tres: Zona norte, Carchi e Imbabura; Zona Centro, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y Chimborazo; Zona Sur, Cañar, Azuay y Loja (INIAP, 2014_b).

La parroquia Tabacundo registra una superficie cultivada de papa de 53.2 ha, de las cuales el 100% no dispone de riego, por lo que, se realiza este cultivo en condiciones de temporal (SIGTIERRAS, 2015).

La época de siembra juega un papel muy importante en este cultivo, a lo largo de la Sierra ecuatoriana se pueden considerar dos fechas de siembra: la primera durante los meses de mayo-junio y la segunda, durante los meses de noviembre-diciembre. Por lo que el factor a considerar es la precipitación media anual, la cual debe estar entre 600 y 1 200 mm (Muñoz & Cruz, 1984).

Cuadro 3. Duración de las fases fenológicas del cultivo de papa.

FASE FENOLÓGICA	DURACIÓN (DÍAS)
Emergencia	0 – 25
Tuberización	25 – 45
Floración	45 – 85
Madurez	85 - 175

Fuente: (Sandaña, 2016)

2.5. Influencia de los factores meteorológicos sobre los cultivos

La agricultura es una actividad que se encuentra directamente relacionada con el medio natural que la rodea, en este medio natural podemos encontrar varios factores que influyen sobre el desarrollo de los cultivos, entre los cuales, el más importante es el conjunto de factores meteorológicos como son la humedad relativa, la precipitación, la evaporación, la temperatura, entre otras. La influencia de dichos factores sobre el desarrollo de los cultivos puede ser estudiada a detalle debido a que el desarrollo de cada cultivo se puede dividir en fases fenológicas, por lo tanto, es muy factible conocer la influencia, así como la demanda de aquellos factores meteorológicos en cada fase fenológica del cultivo. El conocimiento de estos factores permite realizar cálculos o modelos predictivos del clima, los

cuales serán de gran ayuda para resolver muchos de los problemas a los que se enfrenta la agricultura (Seemann & Primault, 1979).

El clima tiene una gran relación con el inicio o cambio de las diferentes fases fenológicas de un cultivo, debido a que la fecha establecida para el cambio de fase fenológica puede cambiar de una localidad a otra debido a las condiciones climáticas diferentes que pueden darse en dichas localidades (Rojas & Domínguez, 2004).

Seemann & Primault (1979), señalan que los factores básicos de los cuales depende la vida de un organismo son: aire, luz, calor y humedad. La combinación específica de estos factores permite que los organismos cumplan adecuadamente cada fase de su ciclo de vida, en el caso de las plantas se denomina fases fenológicas, las cuales determinan el grado de productividad de los cultivos. Cabe destacar que ninguno de estos factores puede faltar, mucho menos puede ser sustituido por otro.

2.5.1. Precipitación

La precipitación pluvial es un factor determinante para el desarrollo de los cultivos, sobre todo para aquellos que se realizan bajo la modalidad de agricultura de temporal. La importancia que repercute el agua en el desarrollo de las plantas es fundamental, debido a que este líquido vital se encuentra como el principal constituyente de las células vegetales, participa también en la mayoría de procesos metabólicos, así como en la asimilación de los nutrientes que se encuentran en el suelo y son absorbidos gracias a la acción del agua por el proceso de evaporación que es un intercambio directo con el medio ambiente (Kocisova *et al.*, 2003). Es por lo anteriormente mencionado que resulta indispensable conocer los requerimientos hídricos de las plantas en cada fase fenológica del cultivo.

La distribución temporal de las precipitaciones es el elemento que determina la disponibilidad del recurso hídrico durante todo el ciclo del cultivo, además, la determinación de la época seca o lluviosa del año es una clave determinante para el comportamiento de la fenología del cultivo, es decir, el adelanto o retraso de las fechas en las cuales se deberían dar los cambios de fase (Jaramillo *et al.*, 2011).

2.5.2. Evaporación

Se entiende como evaporación al proceso de transformación física de la materia en el cual el agua pasa de estado líquido a un estado gaseoso o vapor de agua, este vapor de agua tiene que retirarse de la superficie evaporante. Se conoce una gran variedad de superficies evaporantes entre las cuales podemos nombrar a algunas: río, lago, laguna, suelo, vegetación (Allen *et al.*, 2006). En las superficies que acabamos de mencionar se da un constante intercambio de las moléculas de agua desde aquellas superficies hacia la atmósfera y viceversa, por lo tanto, se puede definir a la evaporación como la pérdida neta de agua en forma de vapor debido a este intercambio molecular (Barco *et al.*, 2000).

Abtew & Melesse (2013), mencionan que la evaporación es uno de los más importantes parámetros que se toman en cuenta en el ciclo hidrológico, debido a que un gran porcentaje representativo de la precipitación que se pierde es debido a la acción de la evaporación y evapotranspiración, este valor varía de acuerdo con cada región y localidad.

De igual forma los autores Bergamaschi *et al.* (2006) denotan la gran importancia que tiene la distribución de la evapotranspiración durante todo el ciclo de cultivo de las plantas, debido a que según la intensidad de esta variable podría darse un impacto de mayor o menor intensidad en el rendimiento del cultivo.

2.6. Balance hídrico

El balance hídrico es un cálculo que resulta de la evaluación entre las ganancias y pérdidas de agua de la zona radicular del cultivo durante un determinado período de tiempo. Por lo tanto, el riego (R) y la precipitación (P) son los elementos de entrada de agua, los cuales pueden perderse por diferentes factores como escurrimiento superficial (Es), percolación profunda (D), capilaridad (C) (Allen *et al.*, 2006), así como la propia demanda de agua del cultivo, medida mediante la evapotranspiración (ETr) (Hernández, 2017). Esta herramienta permite determinar cuáles son las necesidades hídricas de un cultivo en un período de tiempo determinado, lo que resulta muy beneficioso ya que de esta manera se puede planificar de acuerdo a la disponibilidad del recurso hídrico en una localidad determinada (Cleves *et al.*, 2016).

2.6.1. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

La evapotranspiración de referencia es la representación del agua expresada en (mm) por unidad de tiempo, que se pierde tanto en forma de evaporación del suelo, así como por el proceso de transpiración de la planta. La cual se da en una superficie hipotética o de referencia que tenga las siguientes características: 0.12 m de altura, 70 s m^{-1} de resistencia y 0.23 m de albedo. Esta superficie es muy similar a un área extensa de grama verde en crecimiento, con una altura uniforme y que no tenga limitaciones de agua (Allen *et al.*, 2006). Este parámetro se puede obtener de dos formas, la primera es mediante el valor dado por el tanque evaporímetro Clase A, el cual se estima mediante la observación de la evaporación del tanque aplicando coeficientes empíricos que permiten establecer una relación entre la evaporación del tanque con la ET_o. La segunda forma se realiza mediante el cálculo de datos meteorológicos utilizando la ecuación denominada FAO Penman – Monteith. Este método es recomendado como el único método estándar para el cálculo de la ET_o (Allen *et al.*, 2006).

La ET_o es una representación de la capacidad o fuerza evaporativa de la atmósfera, la cual no depende del tipo de cultivo ni del estado de desarrollo en el que encuentre, tampoco de las prácticas de manejo. Únicamente los factores meteorológicos son los que influyen sobre ET_o (Hou *et al.*, 2013). La

importancia de este cálculo es que permite estimar la evapotranspiración de los cultivos y por lo tanto el balance hídrico (Cleves *et al.*, 2016).

2.6.2. Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

La evapotranspiración del cultivo tiene dos denominaciones las cuales varían de acuerdo con las condiciones ambientales bajo las cuales se desarrolla el cultivo. Por un lado, se tiene la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar (ET_c), la cual hace referencia a un cultivo que se encuentra libre de plagas y enfermedades, mantiene una adecuada fertilización, y sobre todo bajo óptimas condiciones de riego y suelo. Por otro lado, tenemos a la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_c aj), la cual se refiere a un cultivo que se desarrolla bajo condiciones diferentes a las estándar, es decir condiciones ambientales no óptimas que más se acercan a la realidad (Waller & Yitayew, 2016).

2.6.3. Coeficiente de cultivo K_c

El coeficiente de cultivo es un valor que indica la relación existente entre la evapotranspiración que ocurre en la superficie de un cultivo específico (ET_c) con la evapotranspiración de referencia (ET_o). Este valor permite a los agricultores calcular la tasa de evapotranspiración de cada cultivo, y de esta manera establecer los requerimientos hídricos para cada fase fenológica (Pérez *et al.*, 2010).

2.6.4. Precipitación efectiva P_e

La precipitación efectiva es aquella fracción de lluvia que cae sobre la superficie del suelo, que puede ser utilizada por las plantas, sin considerar el agua evaporada, el agua perdida por percolación profunda y el agua de escorrentía (FAO, 2013).

2.6.5. Láminas de agua en el suelo

El suelo es una capa superficial y delgada que se encuentra ubicada sobre la corteza terrestre, está conformado por una parte sólida (componentes minerales y materia orgánica), una parte líquida (agua) y una parte gaseosa (aire), la cantidad o proporción de estas partes agrupadas son las que le dan al suelo sus diferentes características o propiedades y permite clasificarlo en diferentes tipos. El suelo tiene la característica principal de brindar soporte y estabilidad a las plantas, además cumple la función de retener el agua indispensable para el proceso de absorción por parte de las raíces (López, 2006).

Una manera que permite estimar la cantidad de agua presente en una superficie determinada de suelo es por medio de la lámina de agua, la unidad de medida comúnmente utilizada para determinar el volumen de agua en el suelo es el milímetro, por lo tanto, en una área de 1.0 ha, una lámina de agua de 1 mm equivale a 10 m³ ha⁻¹ o 1 l m² (Briceño *et al.*, 2012).

2.6.6. Lámina de Agua Aprovechable

Se denomina lámina de agua aprovechable (LAA) a la cantidad de agua en mm que un suelo es capaz de almacenar entre los niveles de capacidad de campo (CC %) y punto de marchitez permanente (PMP %) a una profundidad radicular efectiva (P_{re} mm) del cultivo en estudio (Legarda *et al.*, 2000).

2.6.7. Lámina Neta

La lámina neta (LN), es la cantidad de agua rápidamente aprovechable por el cultivo, en donde se toma en cuenta el valor de reposición (NR) o porcentaje de agotamiento del agua aprovechable, en otras palabras, es el volumen de agua en mm que debe regresar al suelo debido al proceso de pérdida de agua en forma de vapor causado por la evapotranspiración del cultivo, el papel fundamental que cumple la lámina neta es la reposición de agua para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo (Legarda *et al.*, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

La presente investigación se realizó en Tabacundo, cantón Pedro Moncayo, provincia de Pichincha.

El área de influencia de la estación agrometeorológica Tomalón – Tabacundo, fue determinada a partir de recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), citado por (López, 2013), al encontrarse en un área geográfica montañosa, el radio de acción para ese tipo de estación varía de 10 a 20 kilómetros.

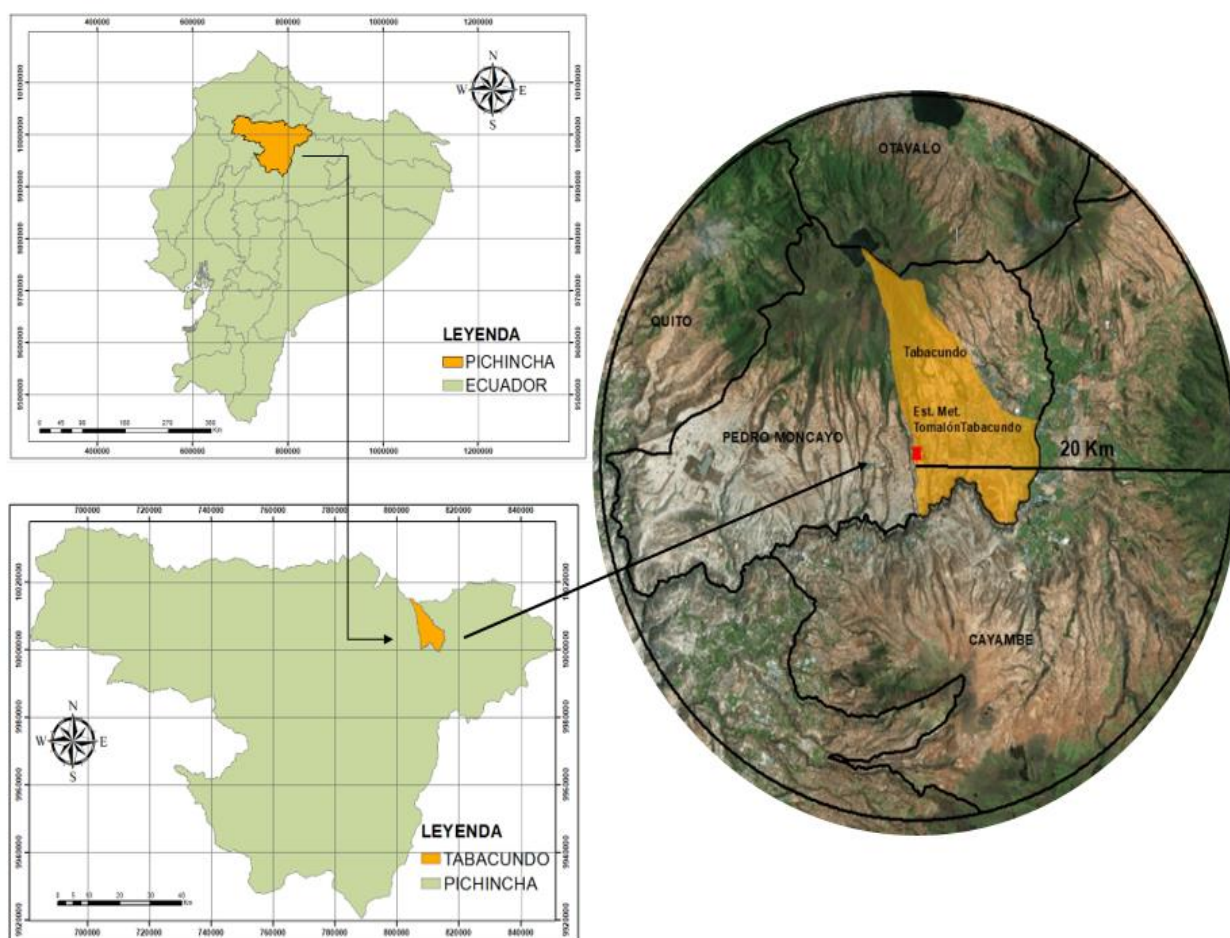


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio, área de influencia de la estación meteorológica Tomalón – Tabacundo. **Fuente:** (INEC, 2019)

3.1.1. Condiciones agroclimáticas

En la zona de estudio correspondiente al área de influencia de la estación meteorológica Tomalón – Tabacundo, las condiciones agroclimáticas registradas son las siguientes:

Cuadro 4. Condiciones agroclimáticas de la zona de investigación.

Condición agroclimática	Valor
Temperatura promedio anual (°C)	14.9
Humedad Relativa promedio anual (%)	65.0
Precipitación promedio anual (mm)	574.0

FUENTE: (INAMHI, 2018)

3.2. Materiales

Para la realización de la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales:

3.2.1. Materiales de oficina

- Tablero plástico
- Esferográfico
- Lápiz
- Borrador
- Corrector
- Carpeta
- Cuaderno A4
- Resma de papel Bond A4
- Ordenador portátil

3.2.2. Información técnica

- Serie histórica mensual y anual promedio de humedad relativa, temperatura máxima, temperatura mínima, evaporación, horas de luz, viento y precipitación de la estación meteorológica “Tomalón – Tabacundo”.
- Serie Histórica de evaporación y precipitación promedio diaria de la estación meteorológica “Tomalón – Tabacundo”.
- Valores del Coeficiente de cultivo (Kc) de maíz, cebada y papa recomendados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), a través de su publicación técnica No. 56 (Allen *et al.*, 2006).
- Información técnica sobre los cultivos, ciclo vegetativo, fechas de siembra, rendimiento.
- Encuestas a agricultores de la parroquia Tabacundo.
- Software InfoStat para el análisis estadístico descriptivo de los datos.

3.3. Metodología

La metodología utilizada se sintetiza en el cuadro 5.

Cuadro 5. Descripción detallada de la metodología.

Objetivo	Variable	Unidad	Método
1	Temperatura mínima (T _{mín})	°C	Se realizó el control de calidad para verificar que las series de datos sean independientes, homogéneas y consistentes.
	Temperatura máxima (T _{máx})	°C	
	Humedad relativa (HR)	%	
	Evaporación (Eo)	mm mes ⁻¹	Se analizó la desviación estándar y el coeficiente de variación de las variables climatológicas, así como la tendencia a lo largo del tiempo, utilizando el método de Mann Kendall.
	Precipitación (P)	mm mes ⁻¹	
	Heliofanía	h	
2	Viento	Km h ⁻¹	A partir de la encuesta se determinó la fecha de siembra de mayor frecuencia utilizada por los agricultores, para los cultivos de maíz, cebada y papa.
	Fecha de Siembra con mayor frecuencia	Día mes ⁻¹	
	Precipitación probable 75 %	mm mes ⁻¹	
	Precipitación Efectiva (Pe)	mm día ⁻¹	
	Evapotranspiración de referencia (ET _o)	mm día ⁻¹	
3	Coeficiente del cultivo K _c	mm	Se determinó el K _c diario para los cultivos de maíz, cebada y papa por el método de la FAO manual técnico N° 56.
	Balance Hídrico	mm Ciclo ⁻¹	Se realizó el balance hídrico para E _{Tr} y precipitación efectiva.
	Fecha de Siembra	Día mes ⁻¹	La mejor fecha de siembra fue aquella en la cual la humedad en el suelo varió entre la lámina de agua aprovechable y la lámina neta.

3.4. Recopilación de datos climatológicos

La serie histórica de datos meteorológicos (1990-2018); Humedad relativa (%), Temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), Evaporación (mm), Heliofanía (h), Viento (Km h⁻¹) y Precipitación (mm)

utilizados para esta investigación, fueron obtenidos de la estación agrometeorológica INAMHI M1094 “Tomalón – Tabacundo”, ubicada en la Parroquia de Tabacundo.

Cuadro 6. Información geográfica de la estación meteorológica Tomalón- Tabacundo.

Código	M1094
Provincia	Pichincha
Cantón	Pedro Moncayo
Propietario	INAMHI
Latitud	0.033333
Longitud	-78.233333
Altitud	2790.00 msnm
Tipo	Meteorológica
Estado	Operativa

Fuente: (INAMHI, 2018)

3.5. Control de calidad de las series de datos

La información climatológica de una serie de datos para ser utilizada en estudios hidrológicos debe ser independiente, homogénea y consistente. El control de calidad permite verificar que los datos de una serie de datos cumplan con estos requisitos y abarca los siguientes procedimientos matemáticos y estadísticos:

3.5.1. Visualización preliminar cualitativa

Cada serie de datos se graficó para determinar visualmente valores atípicos con intervalos de confianza del 95% (Sneyers, 1966). Se utilizó el software de uso libre Hydrognomon para el análisis. En el software se introdujeron las distintas series de datos y para la distribución normal (temperatura, humedad relativa y horas de luz) o gamma (evaporación, precipitación y viento), se trazó el límite inferior (2.5%) y el límite superior (97.5%), siendo atípicos aquellos valores que se encuentren fuera de los límites de confianza.

3.5.2. Relleno de datos faltantes y atípicos

Los datos faltantes y atípicos fueron calculados por el método de los promedios.

3.5.3. Test de Independencia

Para determinar la independencia (aleatoriedad) de los datos se utilizó el test de secuencia (Sneyers, 1966). Se utilizó el software SPSS statistics para el análisis del test (Rachas) en base a la mediana como punto de corte.

3.5.4. Test de homogeneidad y de consistencia.

Para determinar la homogeneidad y la consistencia de las series de datos se realizó una prueba de bondad de ajuste con un nivel de significancia del 5% a través del test Kolmogorov Smirnov (Sneyers, 1966), utilizando el software Hydrognomon.

3.6. Análisis de las variables climatológicas.

Las variables climatológicas fueron analizadas mediante estadística descriptiva y medidas de tendencia central. Para lo cual se llevó a cabo el cálculo de la media ($\bar{X}$), mínima (Mín), máxima (Máx), desviación estándar (S) y coeficiente de variación (CV).

- **Ecuación 1.** Media aritmética ($\bar{X}$)

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

Donde:

X_i : Sumatoria de todos los datos de la serie histórica

n : Número total de datos

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

$$S = \sqrt{S^2}$$

Donde:

S : Desviación estándar

S^2 : Varianza

La desviación estándar o desviación típica es una medida que permite determinar el grado de dispersión de una variable cuantificando el grado de heterogeneidad de los datos, en otras palabras, la desviación estándar permite saber qué tan parecidos o diferentes son los datos de una población entre sí (Ruston, 2012). Por lo tanto, un valor alto de la desviación estándar indica que los datos se encuentran muy alejados de la media, por lo contrario, un valor bajo de la desviación estándar representa un grado mínimo de dispersión (Pita & Pérttega, 2001).

- **Ecuación 3.** Coeficiente de variación (CV)

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

Donde:

CV: Coeficiente de variación

S: Desviación estándar

$\bar{x}$: Media

Es un parámetro estadístico que permite medir la representatividad de la media, por lo tanto, valores muy altos del coeficiente de variación definen que la media no es representativa y que existen valores muy separados entre las observaciones con respecto a las demás, cuanto más bajo sea el coeficiente de variación mayor será la precisión del método (Álvarez, 2016).

3.7. Método estadístico de tendencias.

Se utilizó el método estadístico de análisis de la tendencia de las variables climatológicas Test Mann-Kendall, el cual fue aplicado en la serie histórica anual de las variables climatológicas: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación, humedad relativa y evaporación, de un período comprendido entre los años 1992 hasta 2018 (27 años).

Este es un test no-paramétrico que se utiliza para detectar tendencias en series de datos climáticos, que permiten encontrar cambios significativos en las variables climatológicas a lo largo del tiempo (Yu & Kao, 2007). La prueba de Mann-Kendall según Alencar *et al.* (2017), se considera como la más adecuada para la determinación de dichas tendencias en series de datos climatológicos. Este método consiste en la comparación entre los valores que forman parte de la misma serie histórica de datos agrupados en orden secuencial (IEE, 2013).

El propósito principal que tiene una prueba de tendencia es encontrar si los valores históricos de alguna variable climatológica se incrementaron o disminuyeron a lo largo de un período de tiempo.

- **Ecuación 4.** Test estadístico Mann Kendall

$$S = \sum_{k=1}^{n_1-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

Fuente: (Alencar *et al.*, 2017)

Donde:

S: Desviación estándar

Xj: Variable en estudio (eje x)

Xi: Variable en estudio (eje y)

n: Tamaño de la serie temporal

j: Datos de la variable climatológica en el eje y

i: Datos de la variable climatológica en el eje x

$$(X) = \begin{cases} +1 & x > 0 \\ 0 & x = 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

Fuente: (Alencar *et al.*, 2017)

X_j representa los valores esperados de la serie de datos, n es el tamaño de la serie temporal. Reciben valor cero (0) si $(X_j - X_k) = 0$; y $[-1]$ si $(X_j - X_k) > 0$, por fin, $[1]$ si $(X_j - X_k) < 0$. Supone que H_0 sea verdadera, S debe presentar una distribución aproximadamente normal con media cero y variancia (Alencar *et al.*, 2017).

El valor estadístico de esta prueba se representa por el valor de Z , siendo este un valor positivo cuando hay un aumento en la tendencia y un valor negativo cuando existe una disminución en la tendencia.

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{(Var(S))^{1/2}} & Se & S > 0 \\ 0 & Se & S = 0 \\ \frac{S + 1}{(Var(S))^{1/2}} & Se & S < 0 \end{cases}$$

Para lo cual es necesario calcular la varianza (S), la cual se realiza con la siguiente ecuación:

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

$$Var(S) = \frac{1}{18} [n * (n - 1) * (2 * n + 5)]$$

Fuente: (Alencar *et al.*, 2017)

Donde:

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

n : Serie de tiempo

q : Número de grupos unificados

tp : Número de datos vinculados en la serie p

3.8. Fecha de siembra de mayor frecuencia

Para determinar la fecha de siembra de mayor frecuencia comúnmente utilizada por los agricultores de la zona, se realizaron encuestas en base al análisis de las siguientes variables.

➤ Estimación de la muestra para las encuestas

La recolección de información se realizó a través de encuestas donde la población o universo es el grupo total de individuos u objetos de los cuales se tomó datos o características, sin embargo, en

estadística se examina solamente a una parte pequeña y representativa del grupo a la cual se conoce como muestra (Murray & Larry, 2005).

La siguiente ecuación se utiliza para una población finita y conocida.

- **Ecuación 6.** Muestra poblacional (n)

$$n = \frac{Z_a^2 \times N \times p \times q}{i^2 (N - 1) + Z_a^2 \times p \times q}$$

Donde:

n : Tamaño de la muestra

Z_a^2 : Nivel de confianza (distribución de gauss), $z\alpha (0.05) = 1.96$ y $z\alpha (0.01) = 2.58$

N : Tamaño de la población

p : Probabilidad a favor (50%)

q : Probabilidad en contra (50%)

i^2 : Error que se prevé cometer (5%)

La estimación de la muestra fue realizada tomando en cuenta el número de casas ubicadas en los sectores de la parroquia Tabacundo donde no se dispone de riego (276 casas) (Geoportal IGM, 2013), de las cuales se tomó el 55% de casas debido a que dicho valor representa la población que se dedica al sector primario (agricultura) (GAD Pedro Moncayo, 2015) dando un tamaño de la población $N = 152$, con el cual se procedió a calcular la muestra poblacional, llegando finalmente a un total de 109 encuestas a realizarse.

$$n = \frac{1.96^2 \times 152 \times 0.5 \times 0.5}{0.05^2 (152 - 1) + 1.96^2 \times 0.5 \times 0.5} = 109$$

$$n = 109 \text{ muestra poblacional}$$

Cuadro 7. Distribución muestral de la realización de encuestas.

Comunidad	Altitud (msnm)	Parroquia	Encuestas realizadas
San José Grande	3179	Tabacundo	28
San José Chico	3000	Tabacundo	21
San Joaquín	3094	Tabacundo	32
Guaraquí	3136	La esperanza	28
Total			109

3.9. Balance hídrico

El balance hídrico se realizó para un total de 35 fechas de siembra para cada cultivo.

➤ Variable 1: Cultivo

Tres cultivos de ciclo corto al temporal (maíz, cebada y papa), dichos cultivos se definieron en base al análisis del mapa de uso y cobertura del suelo a nivel nacional obtenido de (SIGTIERRAS, 2015), donde se determinaron los cultivos al temporal que ocupan mayor superficie en la parroquia de Tabacundo.

➤ Variable 2: Meses

Siete meses del año (agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero y febrero), los siete meses fueron determinados a partir de un análisis previo de la distribución anual de la variable climatológica precipitación.

➤ Variable 3: Fecha de siembra

Cinco fechas de siembra por mes.

Cuadro 8. Descripción de los escenarios.

Cultivos	Meses	Fecha de Siembra
Maíz Cebada Papa	agosto	1, 7, 14, 21, 28
	septiembre	1, 7, 14, 21, 28
	octubre	1, 7, 14, 21, 28
	noviembre	1, 7, 14, 21, 28
	diciembre	1, 7, 14, 21, 28
	enero	1, 7, 14, 21, 28
	febrero	1, 7, 14, 21, 28

Se analizó el balance hídrico para la fecha de mayor frecuencia del agricultor y se contrastó con las fechas de siembra del estudio.

➤ Precipitación probable

La precipitación probable del 75% significa que, en un período de 4 años, durante 3 años se presentaran precipitaciones mayores o igual a P75% y durante un año, la precipitación será menor a P75%, lo que el agricultor asocia con años buenos (donde obtuvo buenas cosechas) y un año fue malo (año seco). Pasos para la determinación de la precipitación probable:

1. Enumerar los años con precipitaciones

2. Ordenar los datos de mayor a menor
3. Calcular el factor de posición (ecuación 7)
4. Graficar e interpolar para la probabilidad 75% (ecuación 8)

El factor de posición se determinó a través del método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

- **Ecuación 7.** Factor de posición (F_a)

$$F_a = \frac{100 \times (2 \times n - 1)}{2 \times N_t}$$

Donde:

F_a : Factor de posición

n : Número de posición

N_t : Número total de la serie de datos

- **Ecuación 8.** Precipitación probable ($P_{75\%}$)

$$P_{75} = \frac{(75 - F_{a1}) \times (P_{Fa1} - P_{Fa2})}{F_{a2} - F_{a1}}$$

Donde:

P_{75} : Precipitación probable al 75%

P_{Fa1} : Precipitación para la frecuencia de posición inmediata superior a P75%

P_{Fa2} : Precipitación para la frecuencia de posición inmediata inferior a P75%

F_{a1} : Frecuencia de posición inmediata superior a P75%

F_{a2} : Frecuencia de posición inmediata inferior a P75%

➤ **Precipitación efectiva**

La precipitación efectiva se determinó a través del método desarrollado por la FAO:

Ecuación 9. Precipitación efectiva (P_e)

- Si $P_{75} < 250$ mm

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

- Si $P_{75} > 250$ mm

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

Donde:

P_e : Precipitación efectiva (mm)

P_{75} : Precipitación probable 75% (mm)

➤ **Evapotranspiración de referencia (ET_o)**

La ET_o se determinó por el método Penman – Monteith:

- **Ecuación 10.** Evapotranspiración de referencia (ET_o)

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

Donde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Δ : Pendiente de la curva de la tensión de vapor saturado (kPa/ °C)

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

G : Flujo calórico utilizado en el calentamiento del suelo (MJ/ m² día)

Γ : Constante psicrométrica (kPa/ °C) = 0,001628 (P/l); P en kPa = 101,3((293- 0,0065 z) /293)^{5,26}

T : Temperatura media del aire, en °C

u^2 : Velocidad del viento a 2 m de altura, en ms⁻¹

($e_s - e_a$): Déficit de tensión de vapor (kPa)

➤ **Coeficiente de cultivo (K_c)**

Los valores de coeficiente de cultivo fueron obtenidos a partir de la ficha técnica N° 56 de la FAO (Allen *et al.*, 2006), en donde se puede encontrar la duración de las etapas del ciclo vegetativo de cada cultivo, con su correspondiente valor del K_c.

- **Ecuación 11.** Coeficiente de cultivo (K_c)

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o}$$

Donde:

K_c: Coeficiente del cultivo

ET_c: Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹)

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Cuadro 9. Duración de las etapas de desarrollo para los cultivos de maíz, cebada y papa (días).

Cultivo	Etapas Inicial	Etapas Desarrollo	Etapas Media	Etapas Final	Total
Maíz	30	50	60	40	180
Cebada	20	50	60	30	160
Papa	45	30	70	20	165

Fuente: (Allen *et al.*, 2006)

Cuadro 10. Valores del coeficiente único del cultivo Kc.

Cultivo	Kc Inicial	Kc Media	Kc Final
Maíz	0.7	1.20	0.6
Cebada	0.3	1.15	0.25
Papa	0.5	1.15	0.75

Fuente: (Allen *et al.*, 2006)

➤ **Evapotranspiración del cultivo o real (ETc)**

La evapotranspiración del cultivo es un valor que expresa la cantidad de vapor de agua que se pierde a lo largo de una superficie en la que se encuentra un cultivo (Casa *et al.*, 2000). La cantidad de agua que se requiere para compensar la pérdida a causa de la evapotranspiración del cultivo se define como las necesidades hídricas del cultivo (Allen *et al.*, 2006).

- **Ecuación 12.** Evapotranspiración del cultivo (ETc)

$$ETc = Kc * ETo$$

Donde:

ETc: Evapotranspiración del cultivo

Kc: Coeficiente del cultivo

ETo: Evapotranspiración de referencia

➤ **Balance hídrico (BH)**

- **Ecuación 13.** Balance hídrico (BH)

$$BH_i = LAA + Pe_i - ETr_i$$

$$BH_{i+1} = LAA + Pe_{i+1} - ETr_{i+1}$$

Donde:

BH: Balance hídrico (mm)

BHC: Balance hídrico acumulado (mm)

LAA: Lámina de agua aprovechable (mm)

Pe: Precipitación efectiva (mm)

ETr: Evapotranspiración real (mm)

➤ **Lámina de Agua Aprovechable (LAA)**

Para el cálculo de la lámina de agua aprovechable se utilizó la siguiente ecuación:

- **Ecuación 14.** Lámina de agua aprovechable (LAA)

$$LAA = \frac{(CC - MP) \times P_{re}}{100}$$

Donde:

LAA: Lámina de agua aprovechable (mm)

CC: Contenido de humedad a capacidad de campo (%)

MP: Contenido de humedad en el punto de marchitez permanente (%)

P_{re}: Profundidad radicular efectiva (mm)

➤ **Profundidad radicular efectiva (*P_{re}*)**

El cálculo de la profundidad radicular efectiva requiere de la siguiente ecuación:

- **Ecuación 15.** Profundidad radicular efectiva (*P_{re}*)

$$P_{re} = 0.7 \times P_{rt}$$

Donde:

P_{re}: Profundidad radicular efectiva (mm)

P_{rt}: Profundidad radicular total (mm)

➤ **Lámina Neta (LN)**

La lámina neta se calcula aplicando la siguiente ecuación:

- **Ecuación 16.** Lámina Neta (LN)

$$LN = \frac{LAA \times NR}{100}$$

Donde:

LN: Lámina neta (mm)

LAA: Lámina de agua aprovechable (mm)

NR: Porcentaje de agotamiento del agua (%)

3.10. Fecha de siembra según el Balance hídrico

Las fechas de siembra según el balance hídrico son aquellas en las cuales el balance hídrico varía entre Lámina de Agua aprovechable LAA y Lámina Neta LN, desde la germinación hasta el llenado de granos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variabilidad climatológica

El control de calidad de las variables en estudio permitió determinar que las series datos climatológicas son independientes, homogéneas y consistentes.

4.1.1. Temperatura Mínima (Tmin)

Para la estación Agrometeorológica M1094 “Tomalón - Tabacundo”, período mensual multianual de datos 1992 – 2018 (27 años), la temperatura mínima (Tmin) registrada fue: promedio histórico de 9.2 °C, con un rango de variación comprendido entre 7 °C y 12 °C (Figura 2).

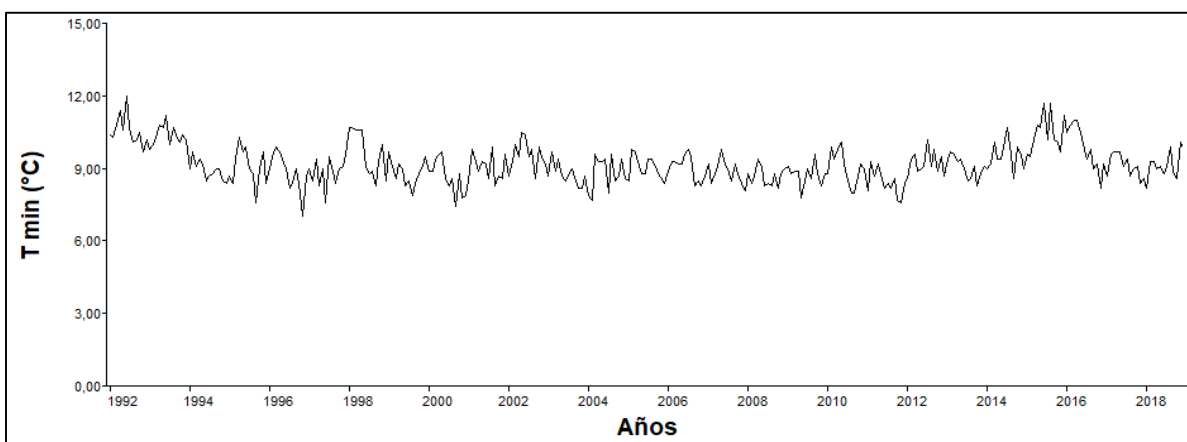


Figura 2. Temperatura mínima promedio. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

Los valores registrados para Tmin promedio mensual (Figura 3) de la serie histórica de datos fueron los siguientes: la mínima en el mes de septiembre con 8.8 °C y la máxima en los meses de marzo y abril con 9.6 °C. Valores que concuerdan con los obtenidos por Bastidas (2016), en donde los meses más fríos del año registrados en la estación Inguincho (ubicada cerca de la estación Tomalón), se encuentran entre junio y diciembre, con un rango comprendido entre 0°C y 7 °C.

La razón principal para que se den dichas bajas temperatura en los meses indicados, es porque ese período de tiempo corresponde a la época seca del año, en donde las condiciones atmosféricas sobre todo las nocturnas, se caracterizan por estar totalmente despejadas, con baja humedad del aire y escaso viento, lo que provoca que la radiación solar acumulada durante todo el día se disipe fácilmente hacia la atmósfera, causando que el suelo pierda calor y se enfríe rápidamente la capa de aire que se encuentra en contacto con él, siendo negativo para los cultivos, debido a que se producen daños fisiológicos relacionados con las heladas (Martínez *et al.*, 2007).

Por otro lado, la Tmin más alta se registró en los meses de marzo y abril con 9.6 °C (Figura 3), en los cuales la precipitación también mantiene valores altos, provocando un aumento en la nubosidad tanto para los días y las noches lo cual significa un incremento en la temperatura atmosférica.

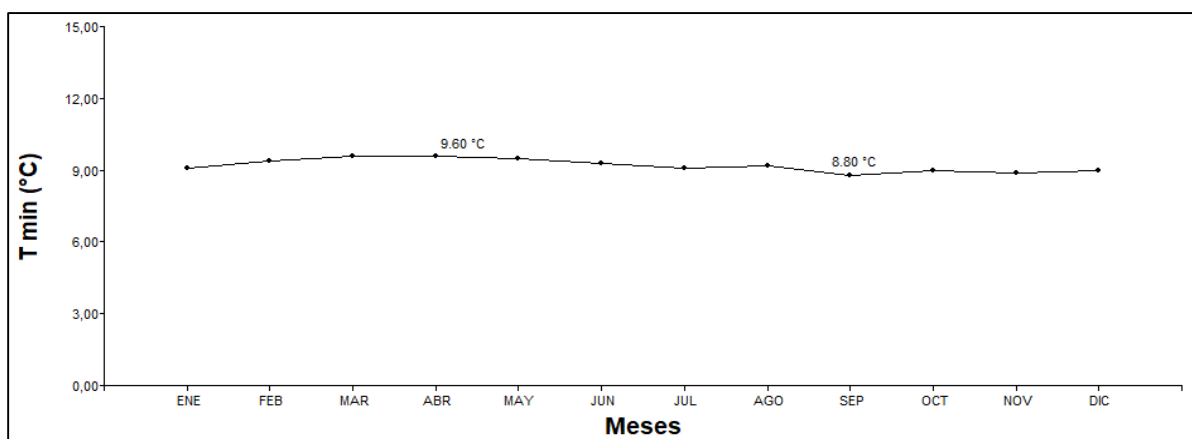


Figura 3. Temperatura mínima promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

La desviación estándar y el coeficiente de variación (Cuadro 11), indican que los datos de Tmin no son dispersos, por lo tanto, para cálculos hidrológicos se pueden utilizar valores promedio.

Cuadro 11. Resumen de la estadística descriptiva para Temperatura mínima.

Mes	Media	Min	Max	D.E	C.V. (%)
Enero	9.1	7.9	10.7	0.7	7.7
Febrero	9.4	7.7	10.8	0.7	7.6
Marzo	9.6	8.6	11	0.6	6.7
Abril	9.6	8.3	11.4	0.7	7.7
Mayo	9.5	7.8	10.7	0.7	7.6
Junio	9.3	7.6	12	1.0	11.2
Julio	9.1	8.0	10.7	0.8	8.3
Agosto	9.2	7.9	11.7	0.9	9.4
Septiembre	8.8	7.4	10.4	0.7	8.3
Octubre	9.0	7.7	10.5	0.7	7.3
Noviembre	8.9	7.0	10.4	0.8	9.2
Diciembre	9.0	7.9	11.2	0.7	8.1

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

Los resultados obtenidos del análisis de tendencia (Cuadro 12), para Tmin demuestran que no existe una variación en los 27 años de la serie, es decir, no existen tendencias significativas, sin embargo, los valores negativos del test para la mayoría de los meses, indican que Tmin tiene una tendencia a la disminución. En el estudio realizado por Córdova *et al.* (2019), se encontró una tendencia negativa ($Z = -1.40$) para esta variable en la serie de datos 1991 y 2013 de la estación Tomalón- Tabacundo, lo que demuestra que la temperatura mínima tiene una ligera tendencia hacia la disminución.

Cuadro 12. Análisis de tendencia para Temperatura mínima 1992 – 2018. Método Mann Kendall.

Series de tiempo	Test Z	Nivel de significancia
Enero	-1.13	-
Febrero	-0.10	-
Marzo	-0.08	-
Abril	-1.13	-
Mayo	-0.60	-
Junio	-0.04	-
Julio	0.48	-
Agosto	0.06	-
Septiembre	1.15	-
Octubre	-1.17	-
Noviembre	-0.35	-
Diciembre	0.42	-

Test Z: (valor positivo) tendencia hacia el incremento, (valor negativo) tendencia hacia la disminución. (*): tendencia significativa $\alpha=0.05$. (-): no es significativo.

4.1.2. Temperatura Máxima (Tmax)

La temperatura máxima (Tmax) registrada fue: promedio histórico de 21.8 °C, con un rango de variación comprendido entre 18.7 °C y 24.8 °C (Figura 4).

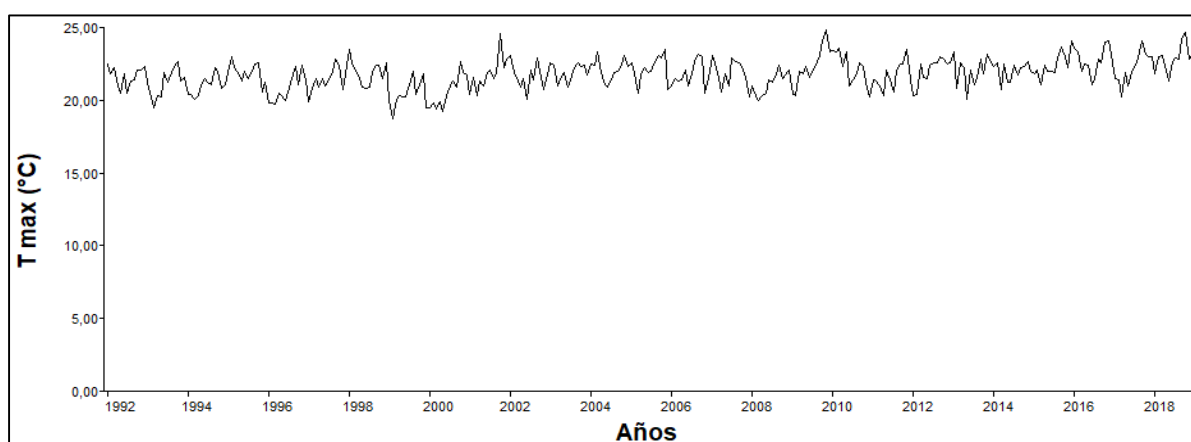


Figura 4. Temperatura máxima promedio. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

Los valores registrados para Tmax promedio mensual (Figura 5) de la serie histórica de datos fueron los siguientes: la mínima en los meses de marzo, abril, mayo y junio con 21.3 °C y la máxima en el mes de octubre con 22.6 °C. Valores que se acercan a los obtenidos por Bastidas (2016), en donde la Tmax mensual de la estación Inguincho (ubicada cerca de la estación Tomalón), comprende los meses de julio y agosto. Como se puede ver en la (Figura 5), la Tmax mensual empieza a aumentar ligeramente desde el mes de julio.

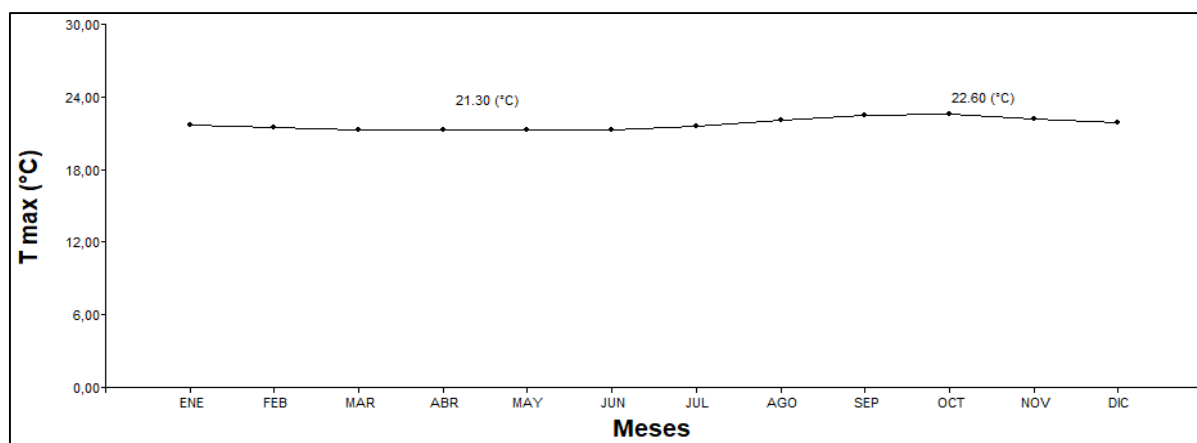


Figura 5. Temperatura máxima promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

La desviación estándar y el coeficiente de variación (Cuadro 13), indican que los datos de Tmax no son dispersos, por lo tanto, para cálculos hidrológicos se pueden utilizar los valores promedio.

Cuadro 13. Resumen de la estadística descriptiva para Temperatura máxima.

Mes	Media	Min	Max	D.E	C.V. (%)
Enero	21.7	19.5	23.6	1.3	5.9
Febrero	21.5	18.7	23.3	1.2	5.7
Marzo	21.3	19.4	23.6	1.2	5.6
Abril	21.3	19.9	22.5	0.8	3.8
Mayo	21.3	19.2	23.3	0.9	4.2
Junio	21.3	20.0	22.7	0.7	3.3
Julio	21.6	20.5	22.9	0.7	3.1
Agosto	22.1	21.1	22.9	0.5	2.5
Septiembre	22.5	20.4	24.2	0.8	3.7
Octubre	22.6	21.1	24.7	0.9	4.1
Noviembre	22.2	20.5	24.8	1.1	5.0
Diciembre	21.9	19.5	24.1	1.1	4.8

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

Los resultados del análisis de tendencia (Cuadro 14), para Tmax demuestran que existe una tendencia positiva significativa con un $\alpha = 0.05$ en los meses de abril a diciembre. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Serrano *et al.* (2012), en donde se registra un incremento de los valores de Tmax anual de la estación Tomalón – Tabacundo (1.025 °C por cada 10 años), la razón para dicho incremento puede estar relacionada con el tipo de cobertura vegetal presente en la zona, la cual es muy escasa, esto provoca que la humedad no se recicle de manera adecuada, causando una menor inercia térmica, lo que se traduce en mayores variaciones de temperatura, a lo cual se suma la influencia del viento, que transporta grandes masas húmedas hacia el sur, incrementando el grado de dicho comportamiento térmico. Los valores positivos del test Z para todos los meses, indican que Tmax tiene una tendencia al incremento.

Cuadro 14. Análisis de tendencia para Temperatura máxima 1992 – 2018. Método Mann Kendall.

Series de tiempo	Test Z	Nivel de significancia
Enero	1.31	-
Febrero	1.63	-
Marzo	1.54	-
Abril	3.34	*
Mayo	2.23	*
Junio	2.00	*
Julio	2.75	*
Agosto	3.17	*
Septiembre	3.23	*
Octubre	2,11	*
Noviembre	2.90	*
Diciembre	2.33	*

Test Z: (valor positivo) tendencia hacia el incremento, (valor negativo) tendencia hacia la disminución. (*): tendencia significativa $\alpha=0.05$. (-): no es significativo.

4.1.3. Humedad Relativa (HR)

La humedad relativa (HR) registrada fue: promedio histórico de 70.4%, con un rango de variación comprendido entre 42% y 89% (Figura 6).

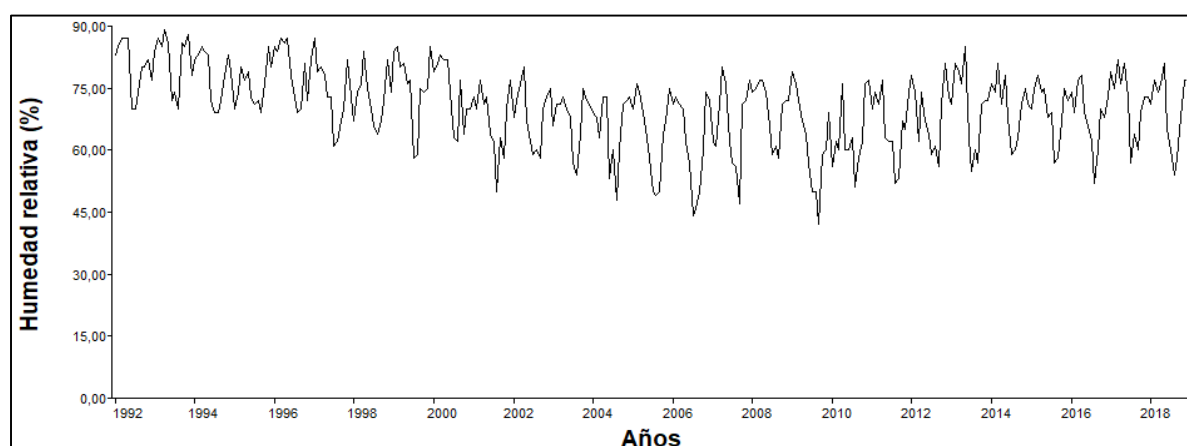


Figura 6. Humedad relativa promedio. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

Los valores registrados para la HR promedio mensual (Figura 7) de la serie histórica de datos fueron los siguientes: la mínima en el mes de agosto con 58.7% y la máxima en el mes de abril con 77.3%.

La Humedad relativa está estrechamente relacionada con la precipitación y la temperatura, por lo tanto, los valores más altos de HR se encuentran en los meses invernales de marzo y abril, y los más bajos presentan los meses de verano junio, julio y agosto. Según Farfán (2018), la HR a nivel nacional se mantiene sobre el 70%. Bastidas (2016) señala que la HR en el Distrito Metropolitano de Quito, mantiene sus niveles más altos entre los meses de enero a mayo, mientras que los de menor HR son los meses de junio a septiembre, dicha información concuerda con la presentada en la (Figura 7).

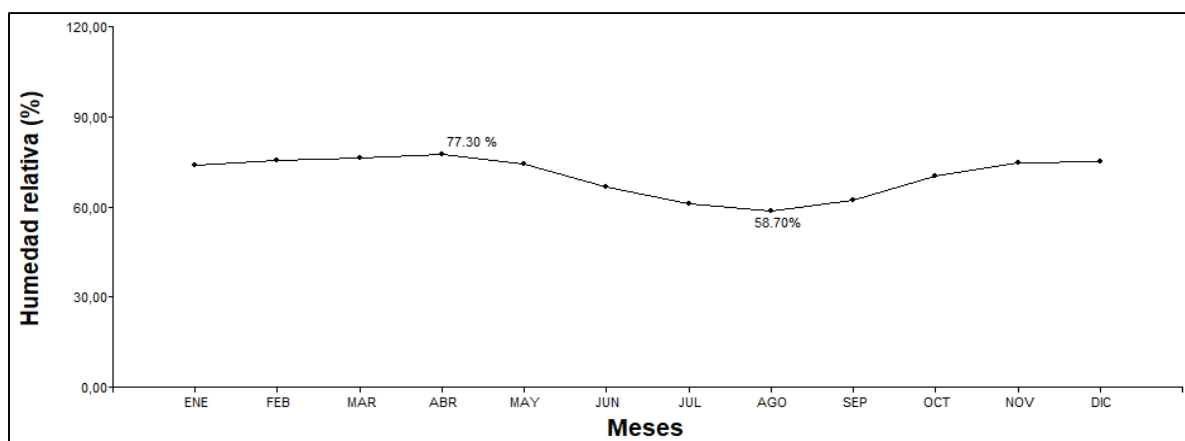


Figura 7. Humedad Relativa promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

La desviación estándar y el coeficiente de variación (Cuadro 15), indican que los datos de HR no son dispersos, por lo tanto, para cálculos hidrológicos se pueden utilizar los valores promedio.

Cuadro 15. Resumen de la estadística descriptiva para Humedad relativa.

Mes	Media	Min	Max	D.E	C.V. (%)
Enero	74.0	56.0	87.0	7.5	10.1
Febrero	75.4	61.0	87.0	6.5	8.6
Marzo	76.3	60.0	87.0	7.1	9.3
Abril	77.3	67.0	89.0	5.6	7.3
Mayo	74.4	60.0	87.0	8.1	10.9
Junio	66.5	53.0	78.0	6.5	9.7
Julio	61.1	44.0	74.0	7.1	11.6
Agosto	58.7	46.0	74.0	7.8	13.2
Septiembre	62.1	42.0	86.0	10.2	16.4
Octubre	70.2	58.0	85.0	6.6	9.4
Noviembre	74.6	60.0	88.0	6.4	8.6
Diciembre	74.9	69.0	85.0	3.8	5.0

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

Los resultados del análisis de tendencias (Cuadro 16), para HR demuestran que existe una tendencia negativa significativa con un $\alpha = 0.05$ en los meses de marzo, abril, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre; los valores negativos del test Z para todos los meses, indican que HR tiene una tendencia a la disminución.

En el estudio realizado por Serrano *et al.* (2012), se muestra una ligera tendencia hacia la disminución de la variable HR, esto se debe cambio en el uso del suelo causado por el proceso de urbanización de la zona de estudio.

Cuadro 16. Análisis de tendencia para Humedad Relativa 1992 – 2018. Método Mann Kendall.

Series de tiempo	Test Z	Nivel de significancia
Enero	-1.27	-
Febrero	-1.81	-
Marzo	-2.40	*
Abril	-2.94	*
Mayo	-1.81	-
Junio	-1.61	-
Julio	-2.52	*
Agosto	-2.56	*
Septiembre	-3.40	*
Octubre	-2.69	*
Noviembre	-1.88	-
Diciembre	-2.21	*

Test Z: (valor positivo) tendencia hacia el incremento, (valor negativo) tendencia hacia la disminución. (*): tendencia significativa $\alpha=0.05$. (-): no es significativo.

4.1.4. Evaporación (Eo)

La Evaporación (Eo) registrada fue: promedio histórico de 122.2 mm, con un rango de variación comprendido entre 61.8 mm y 302.5 mm (Figura 8).

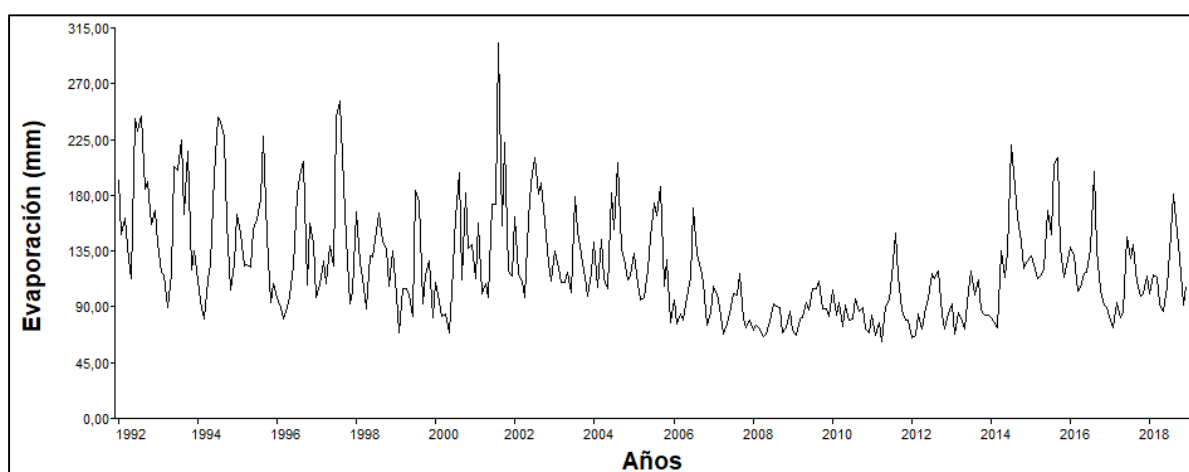


Figura 8. Evaporación promedio. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

Los valores registrados para Eo mensual (Figura 9) de la serie histórica de datos fueron los siguientes: la mínima en el mes de abril con 95.2 mm y la máxima en agosto con 173.2 mm. Los autores Barros & Troncoso (2010), encontraron que los valores más altos de evaporación en toda la sierra ecuatoriana, se registran en la estación Tomalón – Tabacundo.

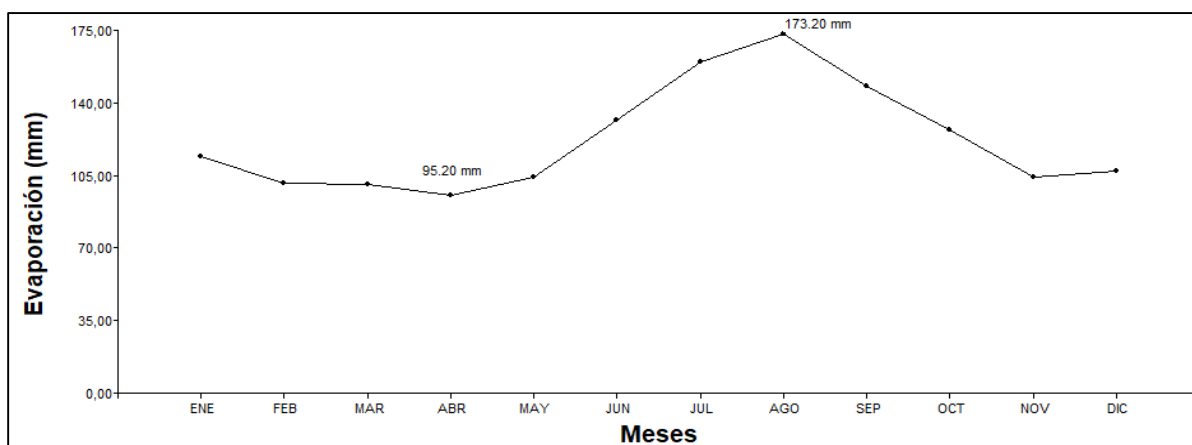


Figura 9. Evaporación promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

Los valores de coeficiente de variación (Cuadro 17) indican una alta dispersión en los datos de evaporación, los cuales fluctúan en un rango muy abierto con respecto a la media. En el estudio realizado por Barros & Troncoso (2010), en donde se analizó la evaporación, se encontró que existe mucha variación en los datos de la Eo máxima, media y mínima a lo largo de la sierra ecuatoriana.

Cuadro 17. Resumen de la estadística descriptiva para Evaporación.

Mes	Media	Min	Max	D.E	C.V. (%)
Enero	114.3	65.0	192.2	33.1	28.9
Febrero	101.2	67.0	157.8	27.6	27.3
Marzo	100.5	71.9	161.9	21.9	21.8
Abril	95.2	61.8	135.5	19.7	20.7
Mayo	104.4	68.5	160.9	22.2	21.3
Junio	131.8	77.8	241.7	43.7	33.2
Julio	159.7	80.6	243.0	45.5	28.5
Agosto	173.2	90.8	302.5	54.0	31.1
Septiembre	148.0	86.1	227.3	42.4	28.7
Octubre	127.2	69.0	222.8	40.8	32.1
Noviembre	104.1	72.0	157.2	24.7	23.7
Diciembre	107.0	68.6	167.6	25.2	23.6

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

Los resultados del análisis de tendencias (Cuadro 18), para Eo demuestran que existe una tendencia negativa significativa con un $\alpha = 0.05$ en los meses de enero, febrero, mayo, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre; los valores negativos del test Z para todos los meses del año, indican que la Eo tiene una tendencia hacia la disminución.

Cuadro 18. Análisis de tendencia para Evaporación 1992 – 2018. Método Mann Kendall.

Series de tiempo	Test Z	Nivel de significancia
Enero	-2.73	*
Febrero	-2.02	*
Marzo	-1.67	-
Abril	-1.77	-
Mayo	-2.40	*
Junio	-1.94	-
Julio	-3.11	*
Agosto	-2.48	*
Septiembre	-2.36	*
Octubre	-3.13	*
Noviembre	-2.36	*
Diciembre	-2.06	*

Test Z: (valor positivo) tendencia hacia el incremento, (valor negativo) tendencia hacia la disminución. (*): tendencia significativa $\alpha=0.05$. (-): no es significativo.

4.1.5. Precipitación (P)

La precipitación (P) registrada fue: promedio histórico de 52.3 mm, con un rango de variación comprendido entre 0.1 mm y 198.2 mm (Figura 10).

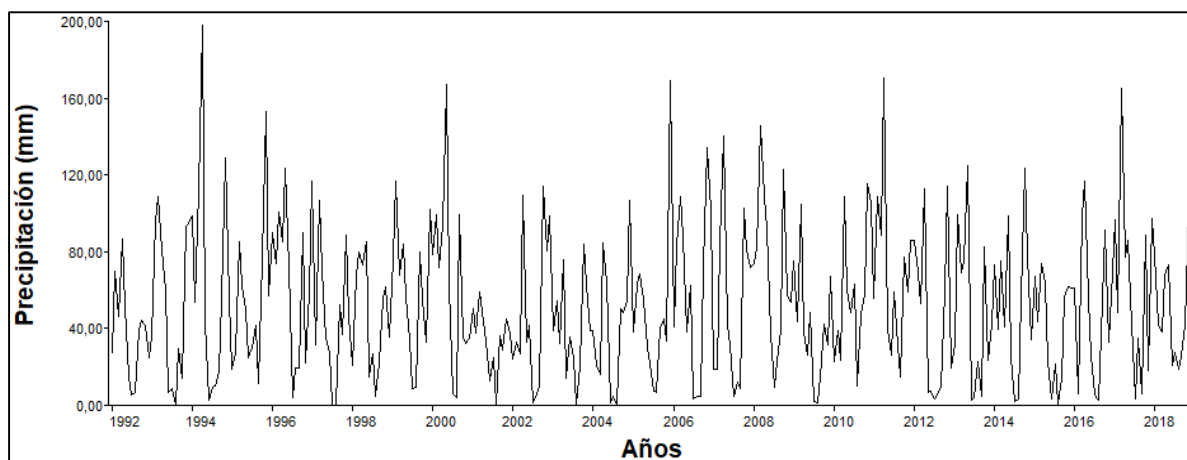


Figura 10. Precipitación promedio. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

Los valores registrados para P mensual (Figura 11) de la serie histórica de datos fueron los siguientes: la mínima en el mes de agosto con 10.4 mm y la máxima en abril con 89.2 mm. La precipitación mensual analizada en estaciones meteorológicas cercanas a la estación Tomalón, como M002 La Tola (Tumbaco), M024 Iñaquito (D.M.Q) y M003 Izobamba (sur de Quito) tienen un comportamiento bimodal, registrándose un máximo principal en el mes de abril y un periodo lluvioso secundario en el mes de octubre (Bastidas, 2016).

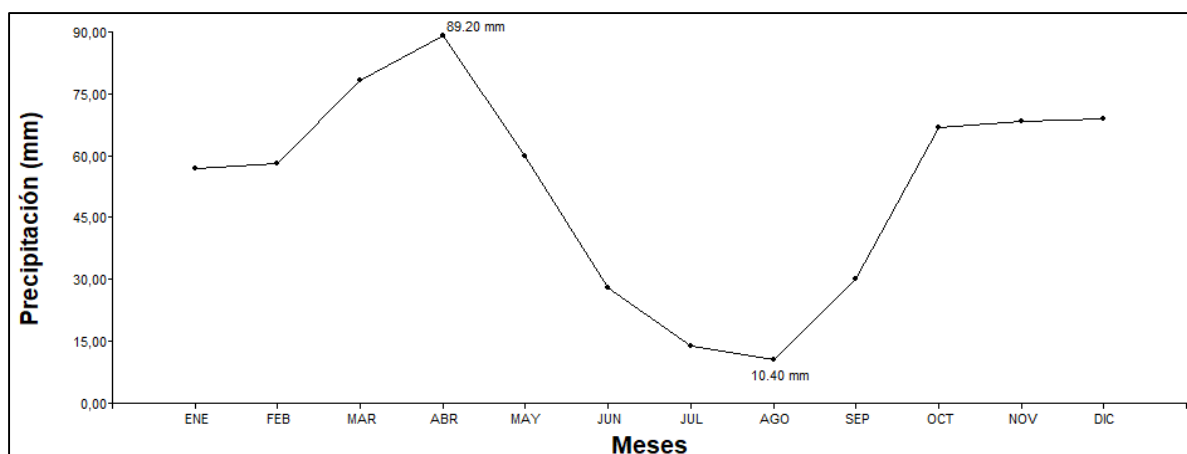


Figura 11. Precipitación promedio mensual. Serie de datos 1992 – 2018. Fuente: (INAMHI, 2018).

El coeficiente de variación se encuentra en un rango comprendido entre 26.5% y 110.5% (Cuadro 19), lo que significa que los datos de P tienen un alto grado de dispersión y no tienen uniformidad ya que se alejan de la media, por lo tanto, para cálculos hidrológicos se debe trabajar con probabilidades.

Cuadro 19. Resumen de la estadística descriptiva para Precipitación.

Mes	Media	Min	Max	D.E	C.V. (%)
Enero	56.8	18.8	116.5	28.3	49.8
Febrero	58.1	6.1	116.9	29.5	50.8
Marzo	78.2	16.3	165.2	35.8	45.8
Abril	89.2	37.7	198.2	36.7	41.1
Mayo	59.8	6.7	167.1	37.0	62.0
Junio	27.9	1.5	71.7	19.4	69.6
Julio	13.8	0.1	63.1	16.4	119.2
Agosto	10.4	0.1	41.8	11.5	110.3
Septiembre	30.1	4.6	99.4	23.4	77.7
Octubre	66.7	14.2	123.2	28.8	43.1
Noviembre	68.3	18.0	153.1	37.7	55.3
Diciembre	68.8	19.4	169.1	34.3	49.8

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

Los resultados del análisis de tendencias (Cuadro 20), para P demuestran que no existe una variación en los 27 años de la serie, es decir, no existen tendencias significativas, sin embargo, los valores negativos del test Z para la mayoría de los meses, indican que P tiene una tendencia a la reducción. En el estudio realizado por Samaniego *et al.* (2015), se menciona que la tendencia de la precipitación a nivel regional establece una mayor variabilidad en cuanto a la estacionalidad, lo que se traduce como periodos estacionarios secos más largos y con mayor frecuencia eventos extremos. Según Serrano *et al.* (2012), es difícil encontrar una tendencia a esta variable debido a la gran variabilidad de la precipitación sobre todo en las zonas montañosas, en ese estudio se detectó únicamente un incremento de eventos extremos.

Cuadro 20. Análisis de tendencia para Precipitación 1992 – 2018. Método Mann Kendall.

Series de tiempo	Test Z	Nivel de significancia
Enero	0.88	-
Febrero	-0.71	-
Marzo	-0.38	-
Abril	0.02	-
Mayo	-0.06	-
Junio	0.23	-
Julio	-0.42	-
Agosto	0.85	-
Septiembre	-1.21	-
Octubre	1.90	-
Noviembre	-0.73	-
Diciembre	0.81	-

Test Z: (valor positivo) tendencia hacia el incremento, (valor negativo) tendencia hacia la disminución. (*): tendencia significativa $\alpha=0.05$. (-): no es significativo.

4.2. Percepción de los agricultores al cambio climático

4.2.1. Información geográfica y muestral

Se realizó un total de 109 encuestas dirigidas a los agricultores que no disponen de riego en las comunidades rurales: San José Grande, San José Chico, San Joaquín y Guaraquí, pertenecientes a las parroquias Tabacundo (tres primeras) y la Esperanza (última) del cantón Pedro Moncayo. Cabe destacar que dichos agricultores fueron seleccionados por haberse encontrado sobre la cota del canal de riego Cayambe – Pedro Moncayo.

4.2.2. Información general del agricultor

La población de agricultores encuestados se encuentra en tres rangos de edad: Joven, de 18 a 26 años, un 14%; Adulto, de 25 a 59 años, un 58% y Adulto mayor, > 60 años, un 28%. De los cuales el 52% son mujeres y el 48% son hombres.

El nivel de educación predominante en la zona es: primaria 47%, seguido por secundaria 24%, ningún tipo de educación 28% y superior 1% (Figura 12).

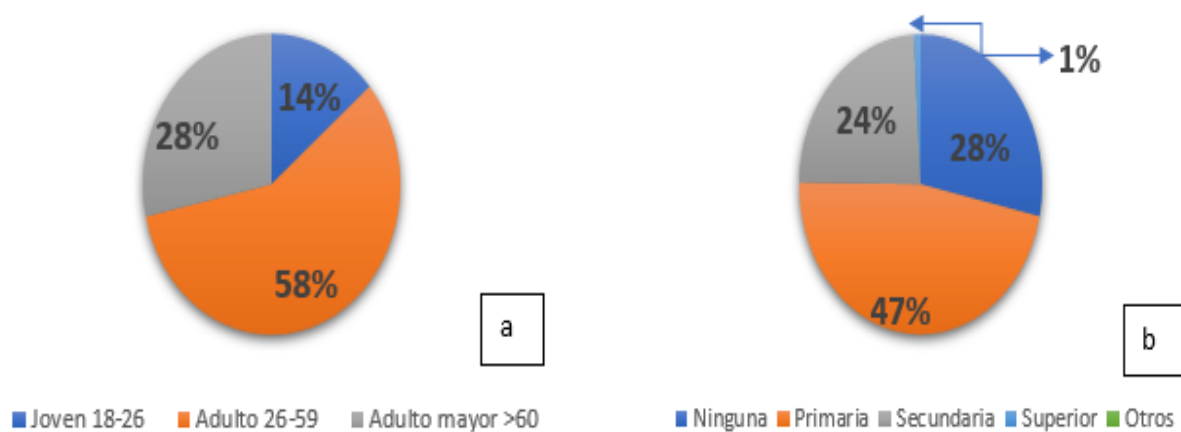


Figura 12. Población: (a) Rango de edad de los agricultores de la zona; (b) nivel de escolaridad.

4.2.3. Datos socioeconómicos

El 73% de los agricultores (Figura 13) manifestó que la Unidad Productiva Agropecuaria UPA donde cultiva es propia, mientras que el 18% dijo que arrienda la propiedad y el 9% dijo que es prestada.

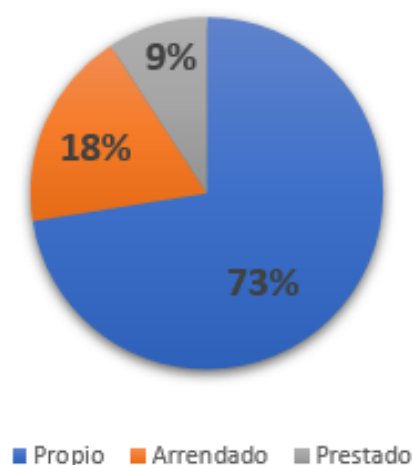


Figura 13. Situación sobre la propiedad de las UPAS en las cuales cultivan los agricultores.

4.2.4. Criterios sobre la percepción del cambio climático

Los siguientes resultados reflejan la percepción que tienen los agricultores sobre una modificación del clima en las últimas décadas sobre todo en cuanto a la precipitación y temperatura, de las comunidades encuestadas que realizan agricultura de temporal. El 86% de agricultores (Figura 14) manifestaron que creen en la existencia del cambio climático, mientras que el 14% restante cree que no existe dicho cambio en el clima.

El 94% de agricultores respondió que sí ha notado la presencia del cambio climático, mientras que el 6% respondió que no ha notado la presencia de dicho cambio en el clima. Según los resultados del estudio realizado por Córdova *et al.* (2019), los agricultores del cantón vecino Cayambe, percibieron

una mayor incidencia de sequías y el aumento de la radiación solar, lo que se traduce en un incremento de la temperatura, también notaron un incremento de la población de plagas y enfermedades en sus cultivos.

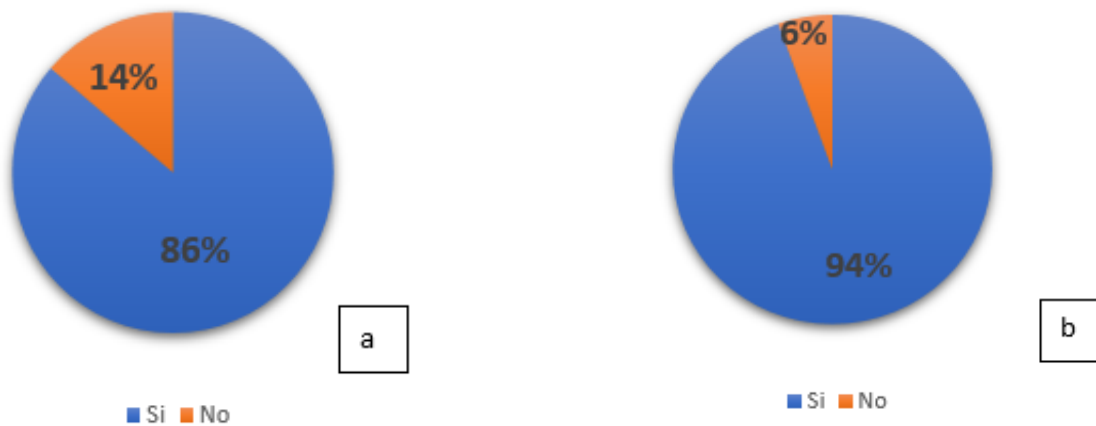


Figura 14. Respuestas a las preguntas (a) ¿cree usted que existe el cambio climático?; (b) ¿ha notado la presencia del cambio climático?

En cuanto a la percepción de la variación de la temperatura y precipitación (Figura 15), el 54% de agricultores notaron un marcado cambio de la temperatura en los últimos años, mientras que el 52% de agricultores notaron un cambio marcado de la precipitación. Tal y como se demuestra en el estudio realizado por Córdova *et al.* (2019), en donde los agricultores encuestados del territorio indígena Kayambi, notaron claramente un incremento en la temperatura en las últimas décadas, así como una reducción importante de la precipitación, lo cual ha sido de gran impacto ya que esta comunidad no disponía de estrategias claras ante el cambio climático en sus sistemas productivos agroforestales.

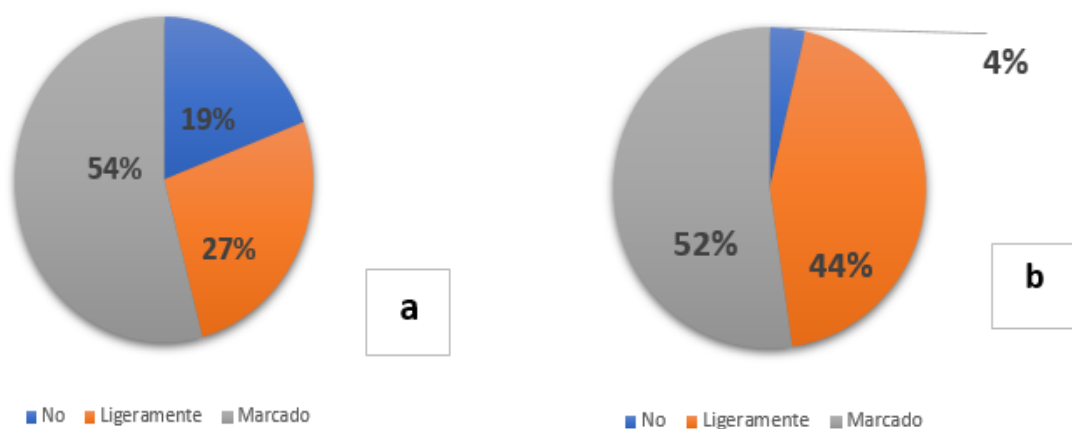


Figura 15. Criterios sobre la percepción del cambio de la temperatura (a) y precipitación (b).

El 39% de agricultores encuestados (Figura 16) atribuye como causa principal del cambio climático a la contaminación ambiental, mientras que el 19% cree que esto se debe a la deforestación, el 12% a la industria y el 30% creen que todas las anteriores son las causas del cambio climático.



Figura 16. Principales causas por la que los agricultores creen que se da el cambio climático.

Como consecuencia de esta variabilidad climática percibida por los agricultores, se han presentado una serie de inconvenientes relacionados con la producción agrícola, en la (Figura 17) se puede observar que el 46% de agricultores se sienten afectados en cuanto a las fechas de siembra, el 13% ha visto comprometido el rendimiento de sus cultivos, el 11% dice que el cambio climático ha afectado el desarrollo vegetativo y el 30% sostiene que se ve afectado por todas las razones anteriores.

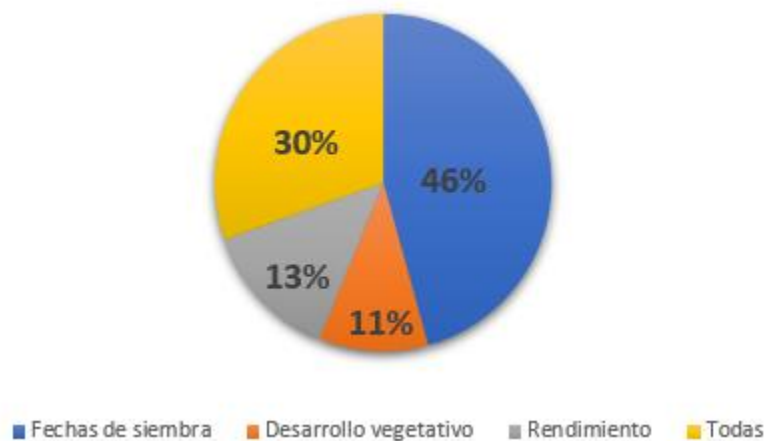


Figura 17. Principales afectaciones en los cultivos causadas por el cambio climático.

Como se puede apreciar en la (Figura 18), la mayoría de los agricultores 43% se basan en la precipitación para decidir el momento de la siembra de sus cultivos, un número importante de agricultores 19% dice basarse en el calendario lunar y el 38% utiliza todas las alternativas anteriormente mencionadas, incluido el almanaque. Dicho esto, es muy importante mencionar que el 78% de agricultores (Figura 18) afirma que la fecha se siembra tradicional para sus diferentes cultivos

ha cambiado, siendo una gran mayoría comparado con el 22% que sostiene que las fechas de siembra tradicionales se mantienen.

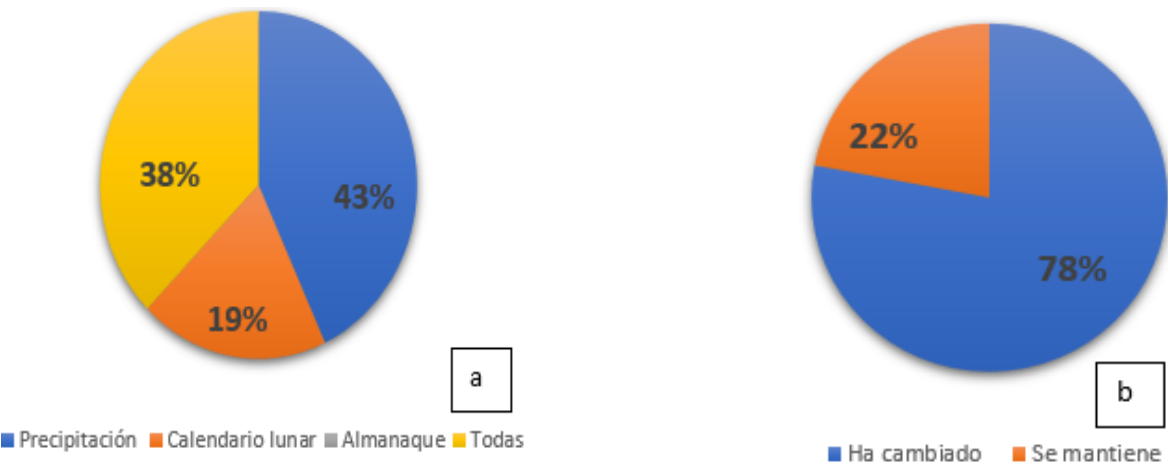


Figura 18. (a) criterios tomados en cuenta al momento de la siembra; (b) cambio en la fecha de siembra.

4.3. Fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor

4.3.1. Fecha de siembra de mayor frecuencia para el cultivo de maíz

Como se puede observar en la (Figura 19), la fecha de siembra para el cultivo de maíz mayormente utilizada por los agricultores de la zona se encuentra en la primera semana de septiembre (45%).

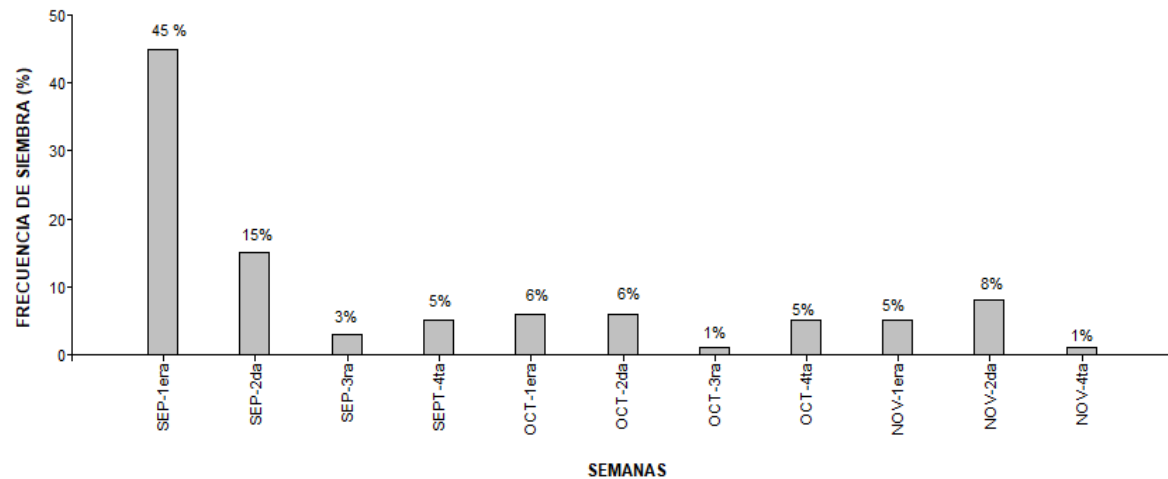


Figura 19. Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de maíz.

Entre las razones por las cuales los agricultores deciden sembrar en aquella fecha (Figura 20) se tiene: que el 48% lo hace por tradición y el 41% lo hace por el inicio de la época lluviosa, la cual según los agricultores de la zona se daba en las primeras semanas de septiembre, sin embargo, en los últimos años la fecha de siembra tradicional ya no coincide con el inicio de la época lluviosa del año provocando

pérdidas en sus cultivos. Basantes (2015) menciona que la época de siembra de choclo para la zona norte de la sierra ecuatoriana va de septiembre a noviembre.

Se tiene también que el 11% restante manifestó que siembra en esta fecha debido a que las cosechas coinciden con la tradición cultural denominada “semana santa”, la cual se realiza en el mes de abril y se caracteriza sobre todo en el sentido gastronómico por la preparación de un plato típico denominado fanesca que se lo prepara en base de varios granos andinos entre los cuales se destaca el maíz fresco o choclo (Trujillo, 2017).

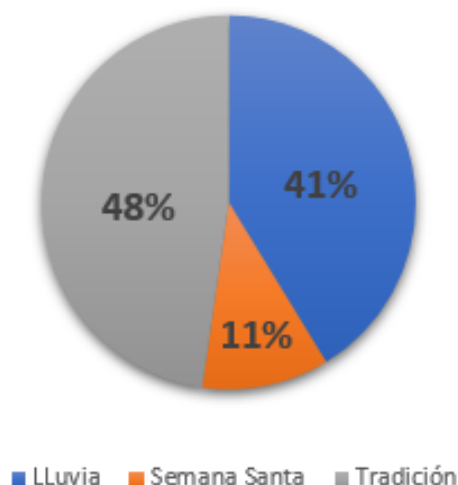


Figura 20. Razones por las cuales el agricultor decide sembrar maíz en dicha fecha.

La superficie de la UPA destinada para el cultivo de maíz en la zona de estudio (Figura 21), se encuentra mayoritariamente con 85% en un rango que va desde los 200 hasta los 1000 m², lo cual les categoriza como agricultores pequeños debido a que la limitación en el área de trabajo no les permite tener una producción que pueda alcanzar para ser comercializada, por tal razón, destinan casi en su totalidad las cosechas para el autoconsumo. A estos agricultores también se les puede categorizar como productores de subsistencia. Según Quishpe (2015), un productor de subsistencia es aquel cuyo ingreso que proviene de su producción le alcanza únicamente para subsistir con su familia.

El 13% de agricultores siembra maíz en superficies que van desde los 1 000 hasta los 10 000 m² y tan solo el 2% destina una superficie mayor a los 10 000 m² para el cultivo de maíz. Según Martínez (2013), la disponibilidad de tierra que tienen los hogares en la categoría de agricultura familiar, es insuficiente ya que en promedio en la región Sierra ecuatoriana, la superficie de tierra para agricultura familiar, se encuentra en un rango que va desde 1.1 ha hasta un máximo de 3 ha. El 56% del total de UPAS de la sierra realiza agricultura familiar de subsistencia (Wong & Ludeña, 2006).

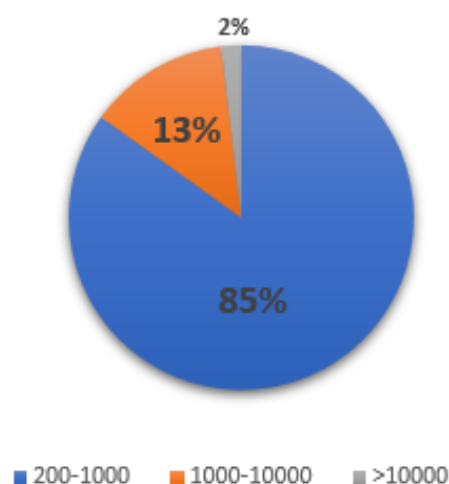


Figura 21. Superficie de la UPA destinada para el cultivo de maíz.

En cuanto a las variedades de maíz (Figura 22), se tienen los siguientes resultados: la variedad de maíz más sembrada en la zona es “Mishca” con un 61%, seguida de “Chulpi” con un 14%, con porcentajes mucho menores también se siembran las siguientes variedades: “Blanco” 5%, “Grande” 4%, “INIAP – 101” 7%. Cabe recalcar que el 94% de agricultores manifestaron que consideran que dichas variedades se encuentran adaptadas a la zona.

En la parte norte de la sierra ecuatoriana comprendida por las áreas maiceras de las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha y Cotopaxi, predomina el tipo de maíz amarillo harinoso, en donde se destaca la variedad “Mischa” (Coral, 2017).

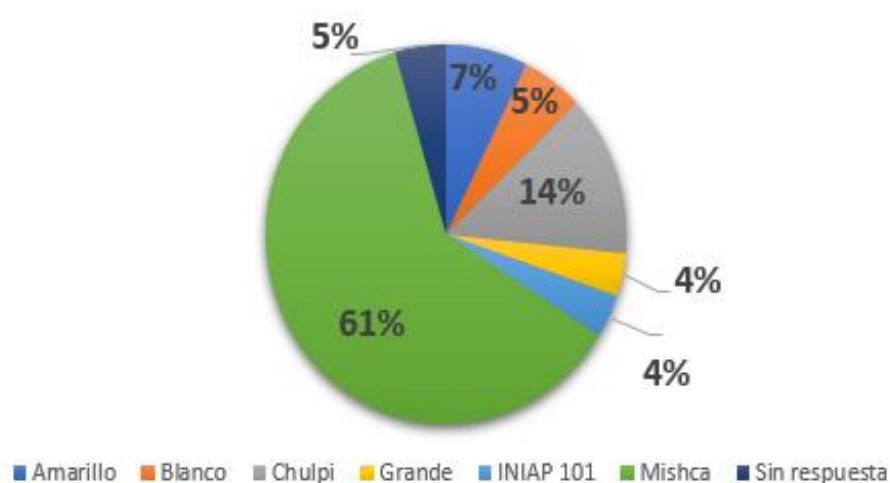


Figura 22. Variedades de maíz utilizadas por los agricultores de la zona.

La percepción que tuvieron los agricultores en cuanto a la producción del cultivo de maíz en un año húmedo (Figura 23) fue: 61% manifestaron que la producción fue buena, un 27% de agricultores sostienen que la producción fue regular y un 12% dice que la producción fue mala. La razón principal

por la cual manifiestan que la producción fue buena en su gran mayoría es que el agua fue suficiente durante todo el ciclo del cultivo, lo que permitió una buena maduración del grano.

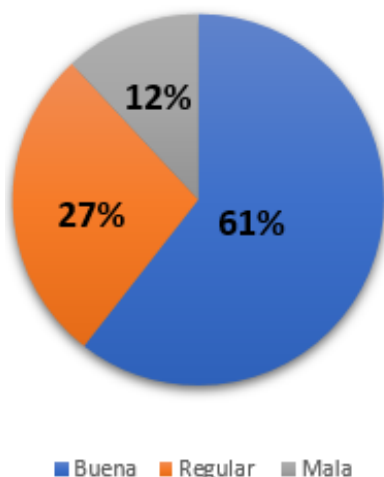


Figura 23. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de maíz en un año húmedo.

Mientras que, para un año seco, el 89% de agricultores (Figura 24) consideraron que la producción del cultivo de maíz fue mala, el 9% regular y tan solo el 2% como buena. La falta de agua durante las fases más críticas del cultivo es una de las principales razones para considerar que la producción de maíz en un año seco fue mala.

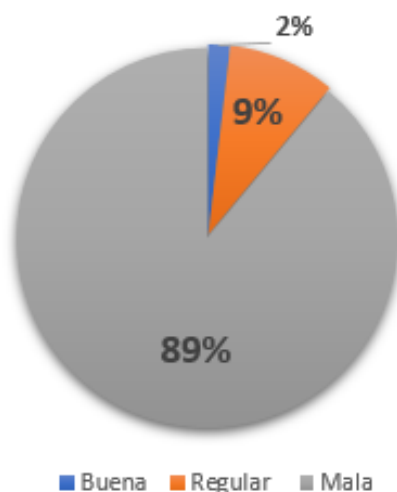


Figura 24. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de maíz en un año seco.

4.3.2. Fecha de siembra de mayor frecuencia para el cultivo de cebada

La fecha de siembra de mayor frecuencia (Figura 25) para el cultivo de cebada en la zona fue la segunda semana de enero con un 31% de agricultores.

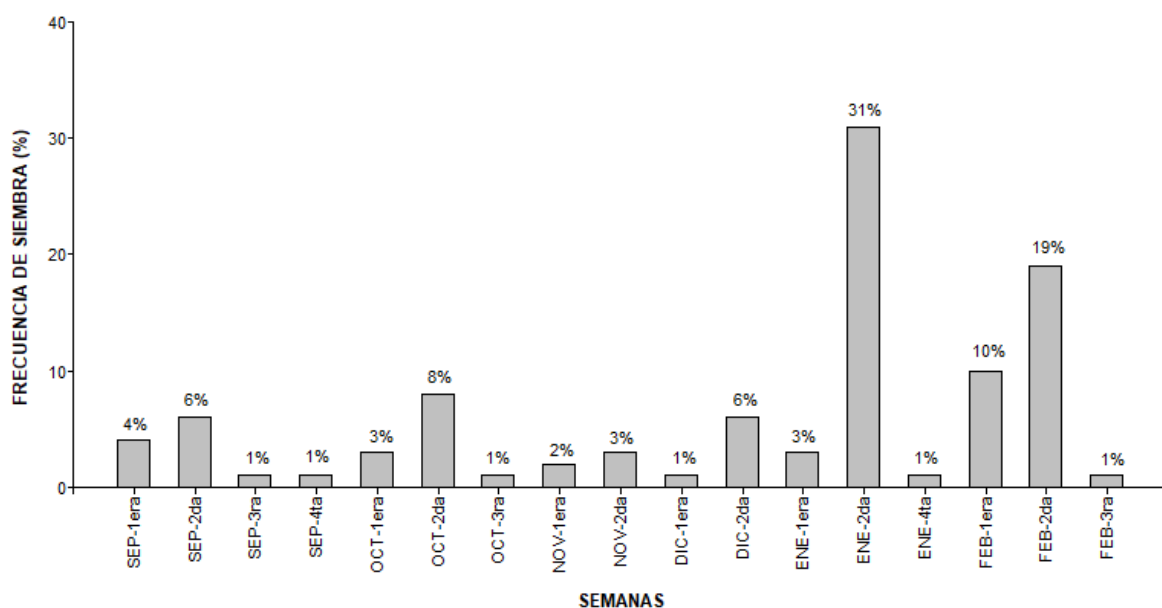


Figura 25. Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de cebada.

Entre las razones principales por las cuales se deciden a sembrar en esta fecha (Figura 26), se tiene que, el 47% de agricultores lo hace por tradición, el 43% lo hace por la época lluviosa y el 10%, lo hace por cuestiones de comercialización.

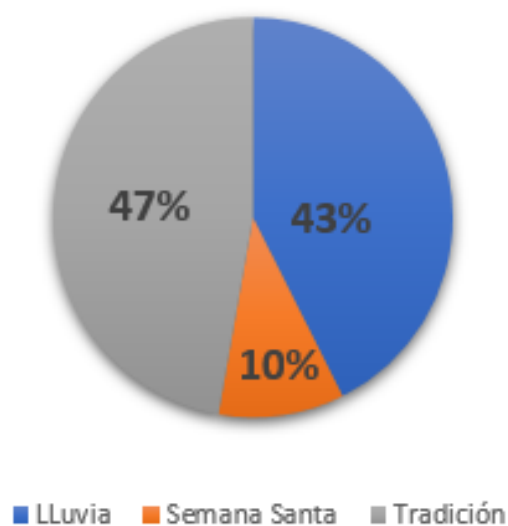


Figura 26. Razones por las cuales el agricultor decide sembrar cebada en dicha fecha.

La superficie destinada para el cultivo de cebada (Figura 27) se encuentra con un 85% en el rango que va desde los 200 hasta los 1 000 m², seguido con un 12% entre los 1000 y 10 000 m² y finalmente con tan solo un 3% superficies mayores a los 10 000 m².

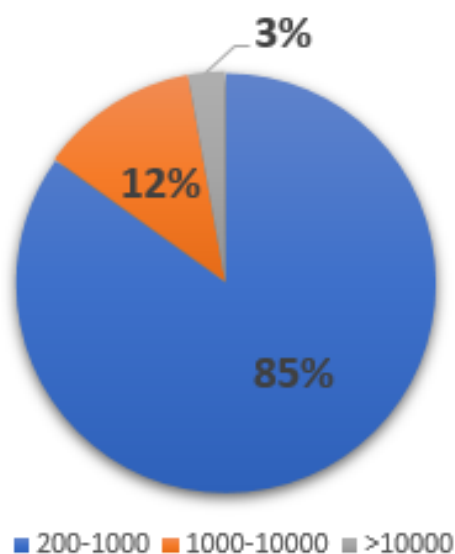


Figura 27. Superficie de la UPA destinada para el cultivo de cebada.

La principal variedad de semilla de cebada (Figura 28) utilizada por los agricultores fue con un 79%, la denominada “Trenza”, esta variedad es la que mayoritariamente se siembra en el área de estudio debido a que consideran que se encuentra adaptada a las condiciones climáticas de la zona. Además, los agricultores encuestados manifestaron que dicha variedad resiste la sequía, resiste plagas y sobre todo es muy tolerante al frío.

Con un bajo porcentaje de utilización existen las siguientes variedades: “Australiana”, “Blanca”, “Cañicapac”, “Cervecera”, “Chimba”, “Dorada” y “Pescado” las cuales bordean porcentajes entre el 1 y 6%.

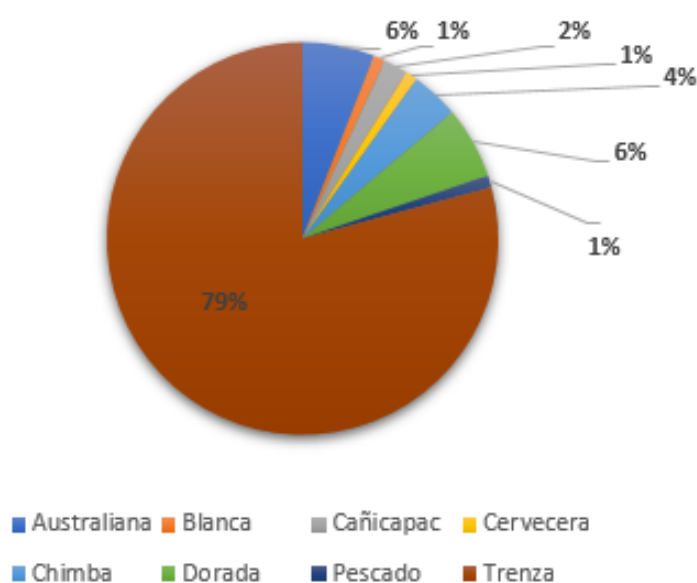


Figura 28. Variedades de cebada utilizadas por los agricultores de la zona.

La percepción sobre la producción del cultivo de cebada en un año húmedo (Figura 29) se registra que el 59% de agricultores sostiene que la producción fue buena, el 29% mencionó que la producción fue regular y el 15% dijo que la producción fue mala.

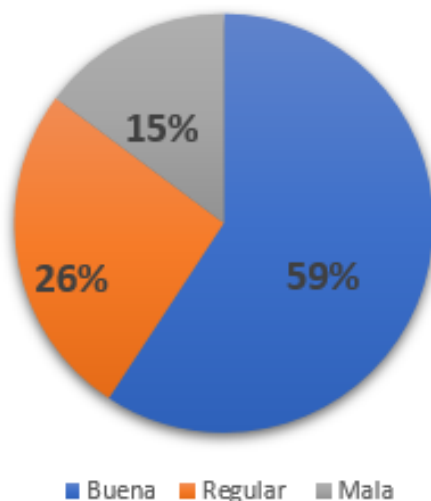


Figura 29. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de cebada en un año húmedo.

Para un año seco, el 76% de agricultores (Figura 30) percibió que la producción del cultivo de cebada fue mala, el 23% regular y tan solo el 1% dijo que la producción fue buena. La falta de humedad durante todo el ciclo del cultivo fue la razón principal para manifestar que la producción de cebada fue mala en un año seco.

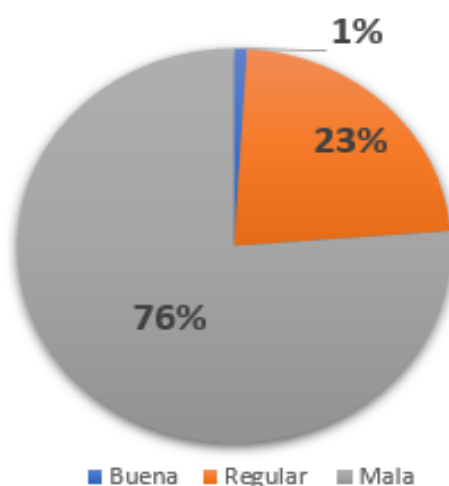


Figura 30. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de cebada en un año seco.

4.3.3. Fecha de siembra de mayor frecuencia cultivo de papa

La fecha de siembra del cultivo de papa con mayor frecuencia en la zona de estudio fue la segunda semana de junio 28% (Figura 31). En el estudio realizado por Chulde (2019), la fecha de siembra de

mayor frecuencia del agricultor para el cultivo de papa en San Gabriel, provincia de Carchi, coincide precisamente con la segunda semana de junio, pese a que en dicho mes el nivel de precipitación es bajo, los agricultores manifestaron que es una modificación de la fecha de siembra tradicional.

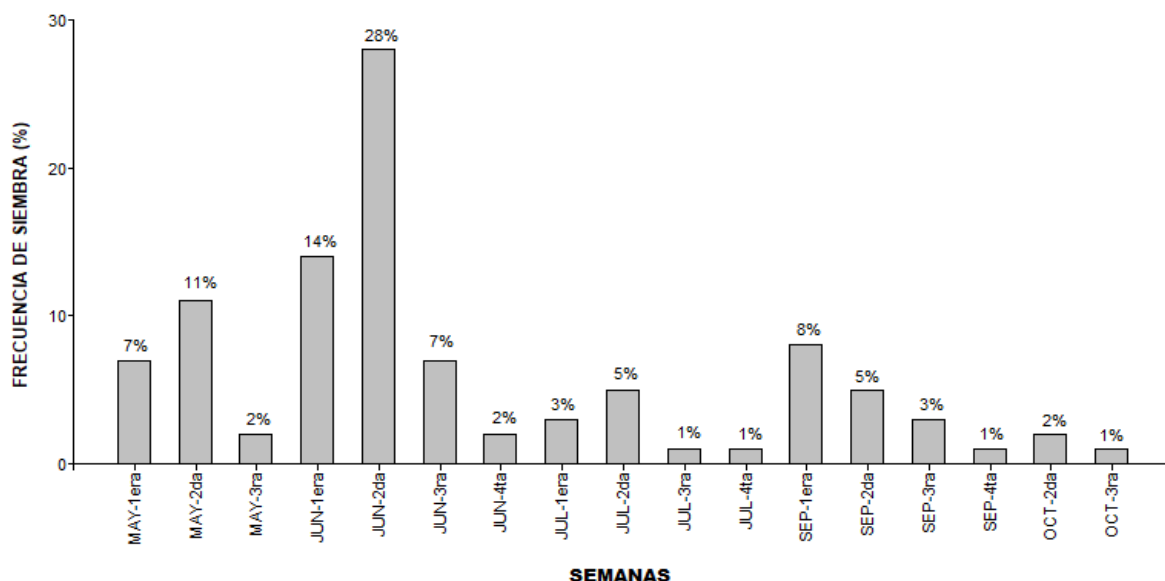


Figura 31. Fechas de siembra de mayor frecuencia del cultivo de papa.

Entre las razones principales por la cual los agricultores decidieron sembrar papa en dicha fecha (Figura 32) se tiene: el 49% lo hace por tradición, el 43% lo hace por la época lluviosa del año y el 8% lo hace por razones de comercialización.

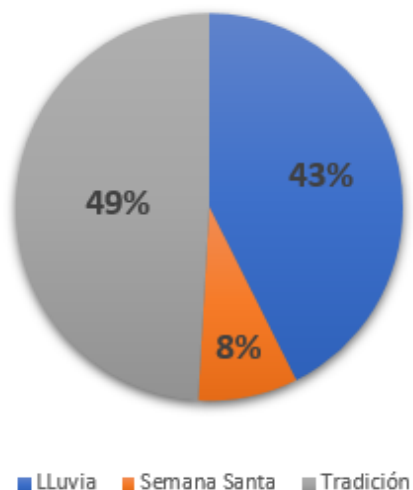


Figura 32. Razones por las cuales el agricultor decide sembrar cebada en dicha fecha.

El tamaño de las UPAS destinadas para el cultivo de papa (Figura 33) se encuentra mayoritariamente con un 85% en un rango que va desde los 200 hasta los 1 000 m², con un 12% se encuentran superficies que van desde los 1000 hasta los 10 000 m², finalmente y con tan solo el 3% se registran superficies mayores a los 10 000 m².

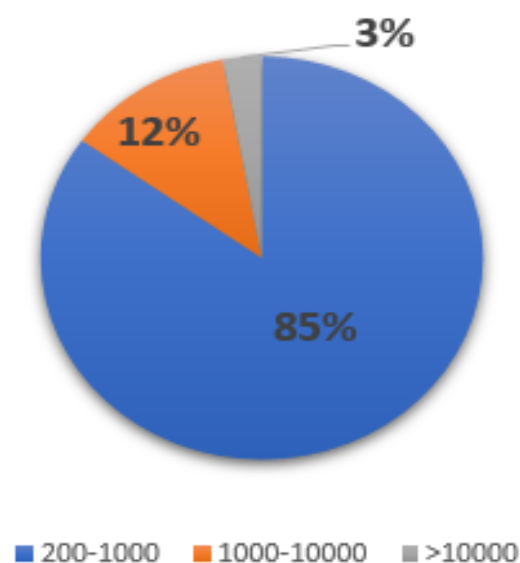


Figura 33. Superficie de la UPA destinada para el cultivo de papa.

“Súper Chola” con un 74% es la principal variedad de papa sembrada en la zona de estudio según los agricultores dicha variedad tiene características positivas como la resistencia a las heladas y un buen rendimiento (Figura 34), a esta variedad le siguen con un 11% Capiro, con un 9% Única y finalmente con un 6% la variedad Esperanza.

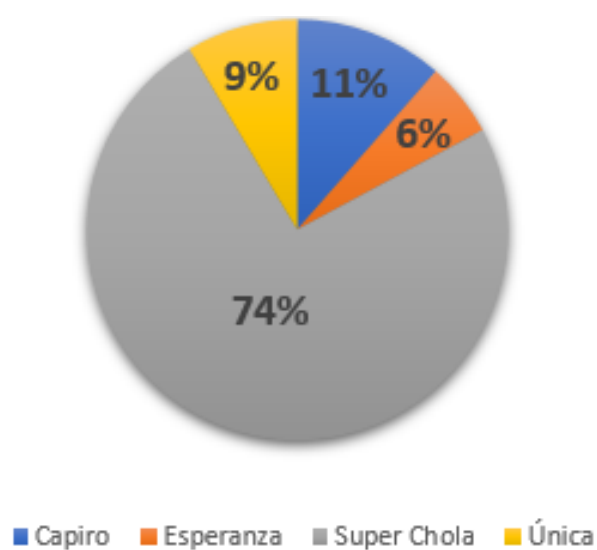


Figura 34. Variedades de papa utilizadas por los agricultores de la zona.

La percepción que tuvieron los agricultores con respecto al cultivo de papa en un año húmedo como se muestra en la (Figura 35) con el 61% indicaron que la producción fue buena, con el 31% tuvieron una producción regular y con el 8% la producción fue mala.

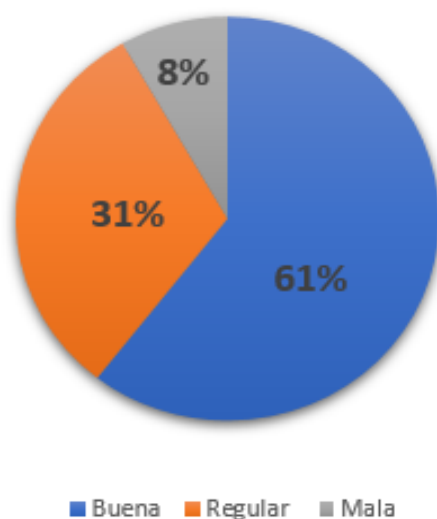


Figura 35. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de papa en un año húmedo.

Mientras que para un año seco los agricultores percibieron que la producción del cultivo de papa (Figura 36) con un 94% fue mala, mientras que el 5% de agricultores dijo que la producción fue regular y tan solo el 1% dijo que fue buena.

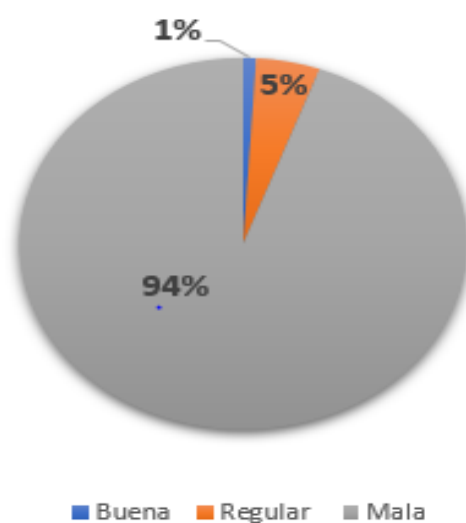


Figura 36. Percepción de los agricultores en cuanto a la producción de papa en un año seco.

4.4. Fecha de siembra según el balance hídrico

4.4.1. Cultivo de maíz

Se realizó un balance hídrico para el cultivo de maíz (Cuadro 21) para 35 fechas de siembra, iniciando desde el mes de agosto y finalizando en el mes de febrero, de acuerdo con la distribución temporal de la precipitación registrada en la estación agrometeorológica Tomalón – Tabacundo, además de la duración del ciclo del cultivo la cual fue de 180 días, las fechas de siembra a considerar fueron los días 01, 07, 14, 21 y 28 de cada mes.

Las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de maíz, fueron las siguientes: 01 de febrero con un déficit hídrico de 260.01 mm, 14 de febrero con 290.71 mm y 28 de febrero con 333.22 mm, las cuales son diferentes de la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor, 01 de septiembre, cuyo déficit hídrico fue de 258.63 mm.

Cuadro 21. Balance Hídrico para el cultivo de maíz en diferentes fechas de siembra

Fecha de siembra	Evapotranspiración real (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Balance hídrico (mm)
AGO - 1	492.18	162.93	-329.25
AGO - 7	484.22	166.84	-317.39
AGO - 14	476.97	174.83	-302.14
AGO - 21	469.39	184.76	-284.64
AGO - 28	462.74	194.28	-268.46
SEP-1	458.70	200.07	-258.63
SEP-7	452.61	204.64	-247.97
SEP-14	448.07	211.52	-236.55
SEP-21	442.55	219.99	-222.56
SEP-28	437.11	228.08	-209.03
OCT-1	434.64	230.61	-204.03
OCT-7	429.55	233.04	-196.51
OCT-14	426.40	235.45	-190.95
OCT-21	422.82	242.49	-180.33
OCT-28	420.59	248.79	-171.80
NOV-1	420.02	251.76	-168.26
NOV-7	417.75	251.68	-166.06
NOV-14	417.70	251.75	-165.96
NOV-21	417.19	251.99	-165.20
NOV-28	415.97	250.45	-165.53
DIC-1	415.41	248.64	-166.77
DIC-7	413.64	247.33	-166.30
DIC-14	412.68	242.08	-170.60
DIC-21	415.50	233.97	-181.53
DIC-28	418.85	229.87	-188.97
ENE-1	422.25	227.65	-194.60
ENE-7	426.07	221.67	-204.40
ENE-14	431.30	212.74	-218.56
ENE-21	438.71	203.43	-235.28
ENE-28	446.42	196.09	-250.33
FEB-1	452.82	192.81	-260.01
FEB-7	460.28	187.20	-273.08
FEB-14	470.11	179.40	-290.71
FEB-21	481.56	169.03	-312.52
FEB-28	493.19	159.97	-333.22

El análisis de los 35 escenarios (Cuadro 21) permitió conocer que la evapotranspiración real promedio fue de 441.31 mm, con un valor mínimo de 412.68 mm y máximo de 493.19 mm; la precipitación efectiva promedio fue de 215.65 mm, con un rango que varía de 159.97 mm a 251.99 mm, y el balance hídrico promedio fue de -225.66 mm, con un rango que varía de -165.20 mm a -333.22 mm.

De esta información se desprende que las lluvias de la zona no cubren el requerimiento hídrico del maíz que varía de 412.68 mm a 493.19 mm, frente a esta realidad, los agricultores lo cosechan en grano tierno o choclo, para auto consumo o venta (preparación del plato típico tradicional denominado fanesca).

Sin embargo es necesario aclarar en cuanto al valor máximo del balance hídrico (Cuadro 21), en el caso de la fecha de siembra correspondiente a 21 de noviembre con un valor de -165.20 mm, aparentemente existe una mayor cantidad de agua para esta fecha, lo cual es cierto, pero en la Figura 37, se puede observar que la distribución de la humedad a lo largo del ciclo del cultivo no es la más adecuada, ya que en la etapa fenológica de floración, la humedad disminuye drásticamente, resultando totalmente negativo para el desarrollo del cultivo, en comparación con las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica posteriormente analizadas.

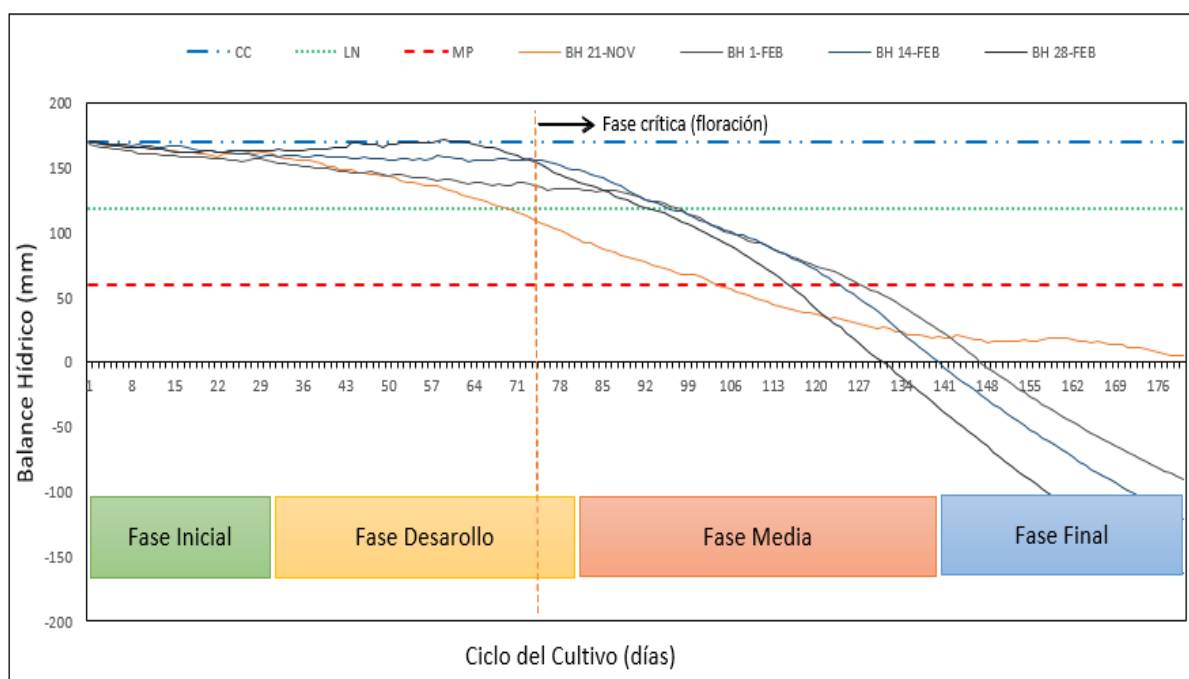


Figura 37. Balance para el cultivo de maíz fecha se siembra 21 de noviembre.

El análisis de la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor en la cual el ciclo del cultivo inicia el 01 de septiembre y finaliza el 27 de febrero (180 días), se presenta en la Figura 38, en donde se puede visualizar un déficit hídrico presente desde la fase inicial del cultivo. Tan solo existe agua disponible en los primeros 25 días, siendo suficiente únicamente para la germinación de la semilla,

según Yáñez *et al.* (2013), los requerimientos de agua del cultivo de maíz están en función de la etapa fenológica, por lo tanto, en la fase inicial, el requerimiento de agua es bajo, pero la humedad debe mantenerse constante, la fase de desarrollo es aquella en donde la cantidad de agua no puede faltar, siendo la etapa más crítica 10 días antes de la floración. Debido a que en esta fase se da el cuajado (formación y llenado de grano), por lo tanto, la producción y el rendimiento dependen de la cantidad de agua suficiente durante esta fase. Según Deras (2012), el cultivo de maíz es muy sensible al estrés hídrico, sobre todo en las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido el cultivo, debido a que se puede causar la pérdida de plantas jóvenes afectando en la densidad poblacional y por lo tanto una reducción del rendimiento. No obstante, el cultivo podría recuperarse si se mantuviese con una humedad constante en el suelo dos semanas antes y dos semanas después de la etapa de floración, permitiendo así una adecuada formación de los granos. Pasados los 25 días iniciales (Figura 38), se puede observar que la cantidad de agua disponible para el cultivo baja radicalmente, incluso llegando al punto de marchitez permanente en la fase más crítica del cultivo.

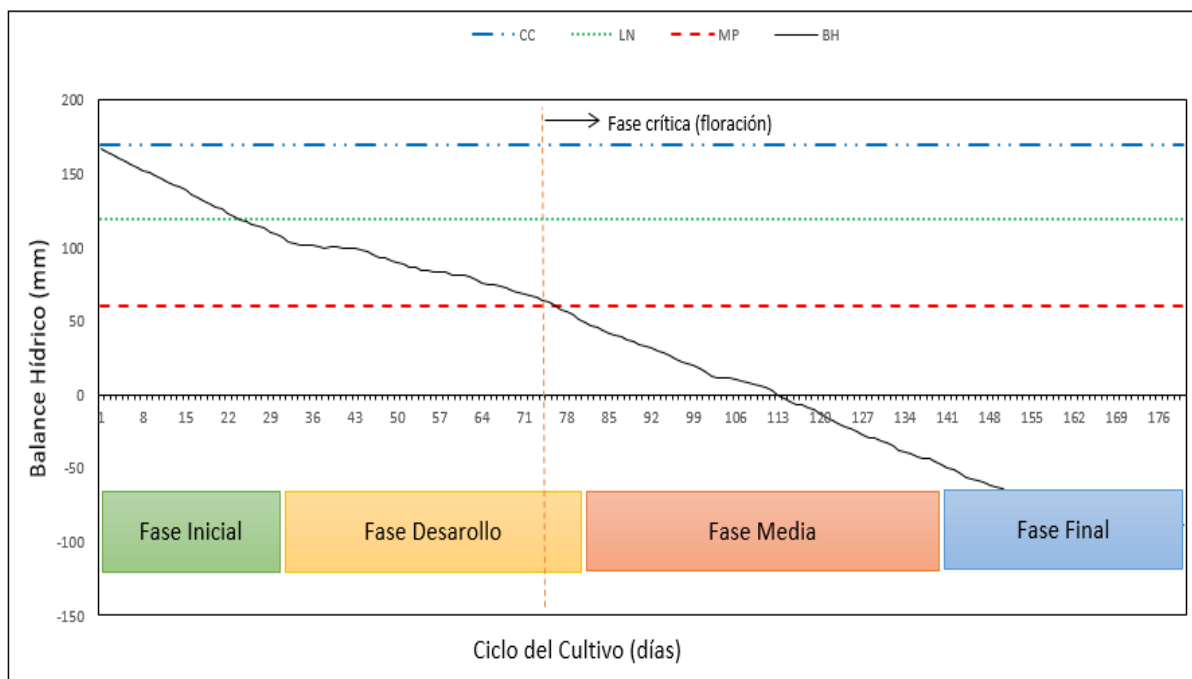


Figura 38. Balance hídrico para la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor: 01 de septiembre.

Por otro lado, el análisis de las fechas con mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de maíz permitió establecer nuevas fechas de siembra, diferentes a la de mayor frecuencia del agricultor. Siendo una de ellas el 01 de febrero. Esta fecha es una de las más adecuadas, debido a la cantidad de agua disponible para el cultivo durante la fase inicial, la fase de desarrollo y sobre todo en la etapa de floración, la cual inicia en el día 75 aproximadamente. Como se puede ver en la Figura 39, la humedad del suelo representada por el balance hídrico se encuentra entre los límites de la lámina de agua aprovechable

y un 30% de la misma, lo que asegura un desarrollo adecuado del cultivo y por lo tanto una buena producción. En el estudio realizado por Limaico (2019), se determinó nuevas fechas para el cultivo de maíz en la parroquia de Tumbaco, en donde la fecha de mayor frecuencia de los agricultores fue la primera semana de noviembre y las fechas óptimas determinadas en base al balance hídrico, fueron las tres primeras semanas de enero.

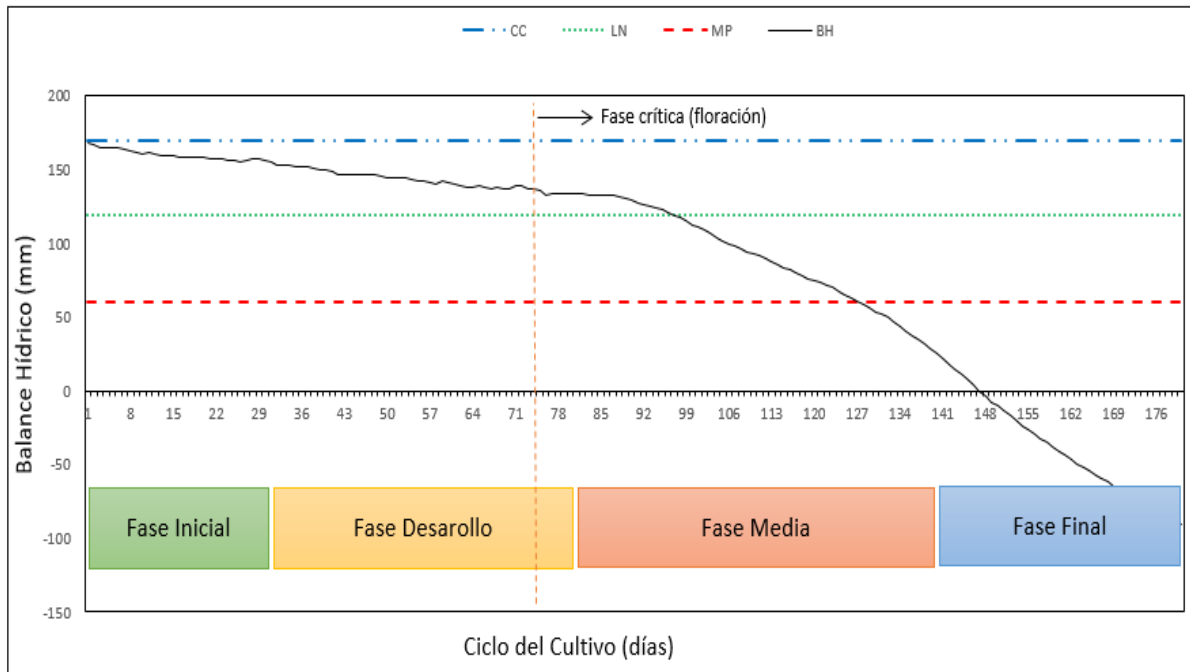


Figura 39. Balance hídrico para la fecha de siembra 01 de febrero.

En la Figura 40, se muestra que el 14 de febrero puede ser considerada como otra fecha de siembra alternativa, debido a que mantiene una adecuada disponibilidad hídrica para el cultivo, desde la fase inicial, manteniendo un nivel adecuado de humedad sobre todo en la fase fenológica más importante para el cultivo. El nivel de humedad desciende progresivamente 15 días después de la fase de floración.

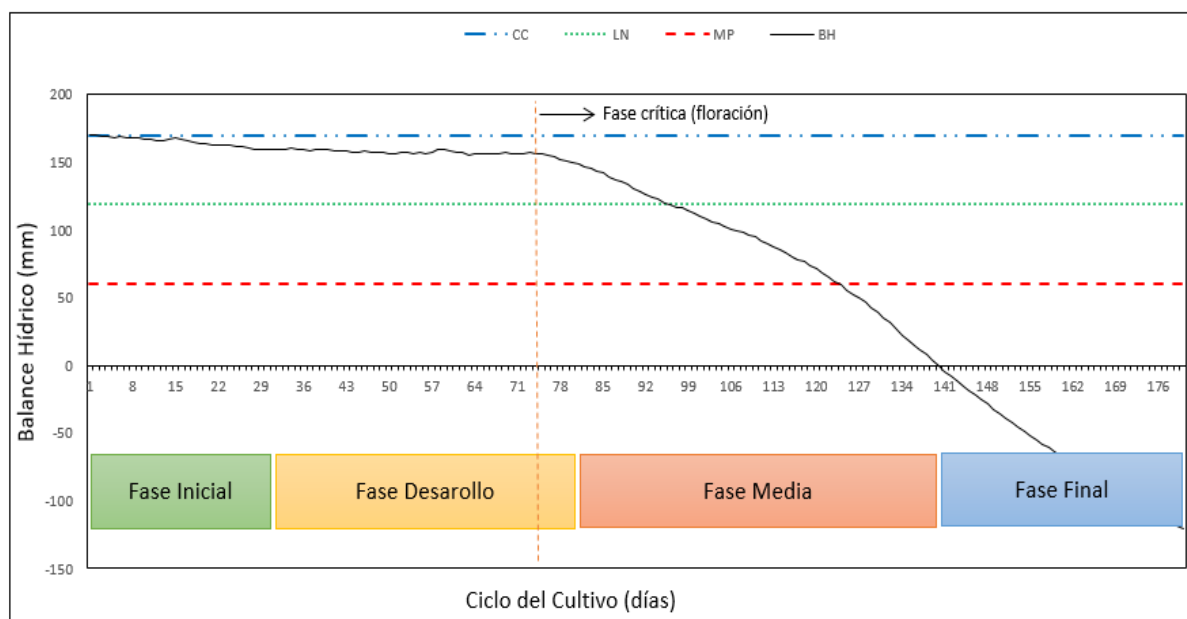


Figura 40. Balance hídrico para la fecha de siembra 14 de febrero.

Otra de las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de maíz, es el 28 de febrero (Figura 41), en donde se observa que existe una adecuada humedad en el suelo durante las primeras fases fenológicas, en las cuales el cultivo es más sensible a un déficit de humedad. La mayor cantidad de agua disponible para el cultivo se encuentra 15 días antes y 15 días después de la floración, lo que asegura un buen desarrollo y llenado de granos, permitiendo una buena producción.

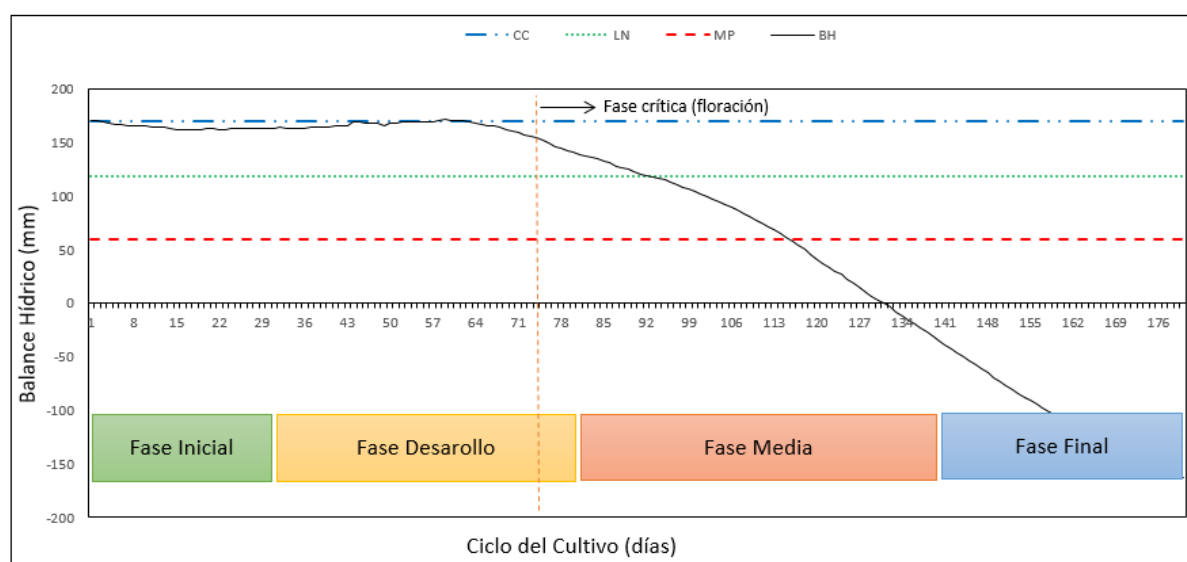


Figura 41. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de febrero.

En la (Figura 42), se puede observar el contraste existente entre la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor versus las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica, se logra apreciar claramente que la fecha de siembra del agricultor no es para nada la más adecuada, debido a que la cantidad de humedad disponible para el cultivo abastece únicamente para la fase inicial y una parte

de la fase de desarrollo, donde el nivel de humedad disminuye drásticamente en la fase crítica del cultivo, resultando totalmente negativo ya que dicha fase es la más importante para el cultivo, debido a que si no se da una adecuada floración del cultivo, no existirá la formación de granos y por ende disminuirá de manera importante el rendimiento del cultivo. A diferencia de las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica, donde se puede observar que la cantidad de humedad en el suelo es suficiente para abastecer el requerimiento hídrico del cultivo, garantizando en ese sentido un buen rendimiento.

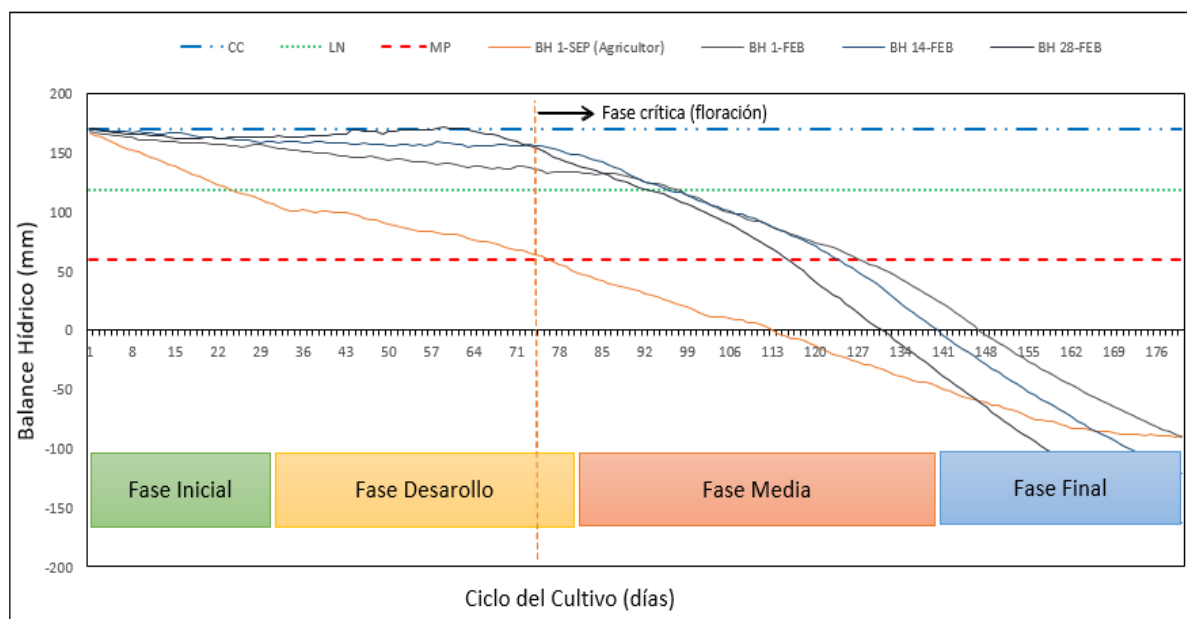


Figura 42. Comparación del Balance hídrico de la fecha de siembra del agricultor con las fechas de mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de maíz.

4.4.2. Cultivo de cebada

Para el cultivo de cebada se realizó un balance hídrico 35 fechas de siembra (Cuadro 22) y la de mayor frecuencia del agricultor. Las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de cebada son: 14 de febrero con un déficit hídrico de 156.07mm, 21 de febrero con 175.22 y 28 de febrero con 194.26 mm, a diferencia de la fecha de mayor frecuencia del agricultor 07 de enero con un déficit hídrico de 89.89 mm.

El análisis de los 35 escenarios (Cuadro 22) permitió conocer que la evapotranspiración real promedio fue de 324.96 mm, con un rango que varía de 305.58 mm a 365.10 mm; la precipitación efectiva promedio fue de 195.72 mm, con un rango que varía de 137.53 mm a 231.80 mm, y el balance hídrico promedio fue de -129.24 mm, con un rango que varía de -79.95 mm a -227.57 mm.

Cuadro 22. Balance Hídrico para el cultivo de cebada en diferentes fechas de siembra

Fecha de siembra	Evapotranspiración real(mm)	Precipitación efectiva (mm)	Balance hídrico (mm)
AGO - 1	365.10	137.53	-227.57
AGO - 7	358.24	144.89	-213.35
AGO - 14	350.74	154.70	-196.05
AGO - 21	344.10	161.87	-182.23
AGO - 28	338.75	166.06	-172.69
SEP-1	336.49	172.59	-163.91
SEP-7	333.65	178.49	-155.16
SEP-14	331.52	186.83	-144.70
SEP-21	329.31	194.47	-134.84
SEP-28	327.20	198.91	-128.29
OCT-1	326.61	201.72	-124.89
OCT-7	325.08	201.82	-123.26
OCT-14	323.31	198.80	-124.51
OCT-21	320.89	201.27	-119.61
OCT-28	319.21	203.43	-115.79
NOV-1	318.81	206.35	-112.46
NOV-7	317.30	212.19	-105.12
NOV-14	315.94	219.66	-96.28
NOV-21	313.88	230.68	-83.20
NOV-28	312.27	231.67	-80.60
DIC-1	311.75	231.80	-79.95
DIC-7	310.81	229.92	-80.89
DIC-14	308.81	226.79	-82.02
DIC-21	307.63	219.40	-88.24
DIC-28	306.33	218.86	-87.47
ENE-1	306.10	219.13	-86.97
ENE-7	305.58	215.69	-89.89
ENE-14	306.54	209.49	-97.06
ENE-21	310.26	200.86	-109.40
ENE-28	315.74	194.11	-121.63
FEB-1	319.83	190.90	-128.93
FEB-7	325.97	185.17	-140.80
FEB-14	333.68	177.61	-156.07
FEB-21	342.91	167.70	-175.22
FEB-28	353.11	158.85	-194.26

De esta información se desprende que las lluvias de la zona no cubren el requerimiento hídrico del cultivo de cebada, el cual varía de 305.58 mm a 365.10 mm, por lo cual se recomienda que los agricultores realicen prácticas de manejo de cultivo que permitan una mayor retención de la humedad en el suelo. Beltrán *et al.* (2011), recomienda la utilización de variedades adaptadas a las condiciones

de sequía, además de la realización de un “multi arado” que consiste en la fracturación del suelo sin que sea necesario invertir el perfil de 0 a 30 cm y la utilización de biofertilizantes, dichas prácticas permitirán un mejoramiento de las propiedades del suelo facilitando un mayor almacenamiento de humedad, lo cual resulta adecuado para un buen desarrollo del cultivo en condiciones de temporal.

La Figura 43, permite visualizar el valor máximo del balance hídrico -79.95 mm, correspondiente a la fecha de siembra 01 de diciembre, en la cual la cantidad total de humedad es mayor que el resto de fechas, pero eso no significa que sea la mejor fecha de siembra, debido a que la distribución de la humedad a lo largo del ciclo del cultivo no es la más adecuada, sobre todo si se observa en la etapa más crítica o de floración, la cantidad de humedad disminuye de manera considerable, lo cual ocasionaría una disminución importante del rendimiento en la cosecha.

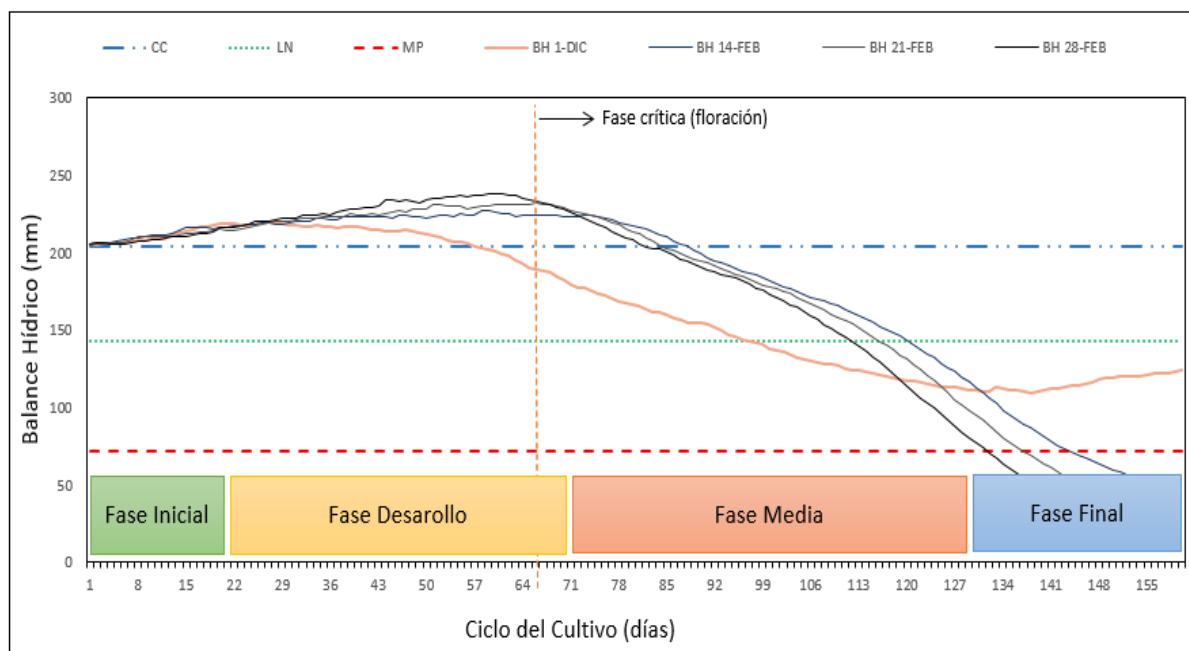


Figura 43. Balance hídrico para la fecha de siembra 01 de diciembre.

La Figura 44 permite visualizar el balance hídrico de la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor, la cual se da el 07 de enero, el ciclo del cultivo finaliza el 14 de junio con una duración de 160 días. La distribución de la humedad en el suelo es adecuada durante todas las fases del cultivo ya que se encuentra sobre la capacidad de campo, no obstante se observa una disminución paulatina de la humedad justo antes de la fase de floración, lo que resulta negativo ya que esta fase es la más importante para asegurar un buen rendimiento en el cultivo de cebada, según Miralles (2017), se debe analizar cuáles son las etapas fenológicas más determinantes en el rendimiento del cultivo antes de tomar la decisión de la fecha de siembra, estas etapas por lo general se encuentran antes del momento de la floración ya que si existe una restricción ambiental (agua, nutrientes, radiación solar) en esta

etapa se verán comprometidos la formación de los macollos, causando una alta tasa de mortandad de flores y por lo tanto una baja formación de espigas.

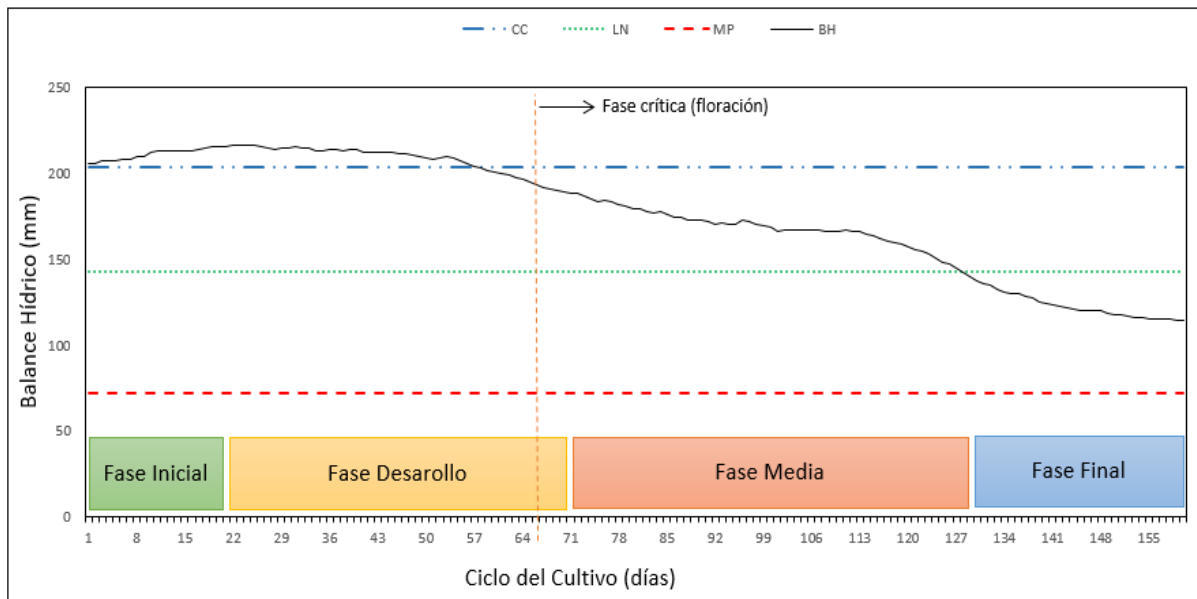


Figura 44. Balance hídrico para la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor: 07 de enero

Una de las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de cebada es el 14 de febrero (Figura 45), llegando al fin del ciclo en el 22 de julio (160 días). La distribución de la humedad del suelo en esta fecha es la más adecuada ya que se mantiene constante durante todo el ciclo del cultivo, llegando a su tope máximo en la fase de floración que es aquella donde se requiere una mayor cantidad de agua que asegure una adecuada formación de granos, según Escobedo & Báez (2011), el cultivo de cebada es sensible al déficit hídrico durante todas las etapas fenológicas, sin embargo son dos las etapas críticas, la primera se da en la fase inicial donde ocurre la germinación de la semilla, en esta etapa se puede dar una reducción importante del número de plantas, afectando la densidad poblacional. La segunda etapa crítica se da en la iniciación del período de floración, en donde si la cantidad de humedad en el suelo es baja se produce una importante reducción del número de espigas por unidad de superficie, afectando directamente al rendimiento.

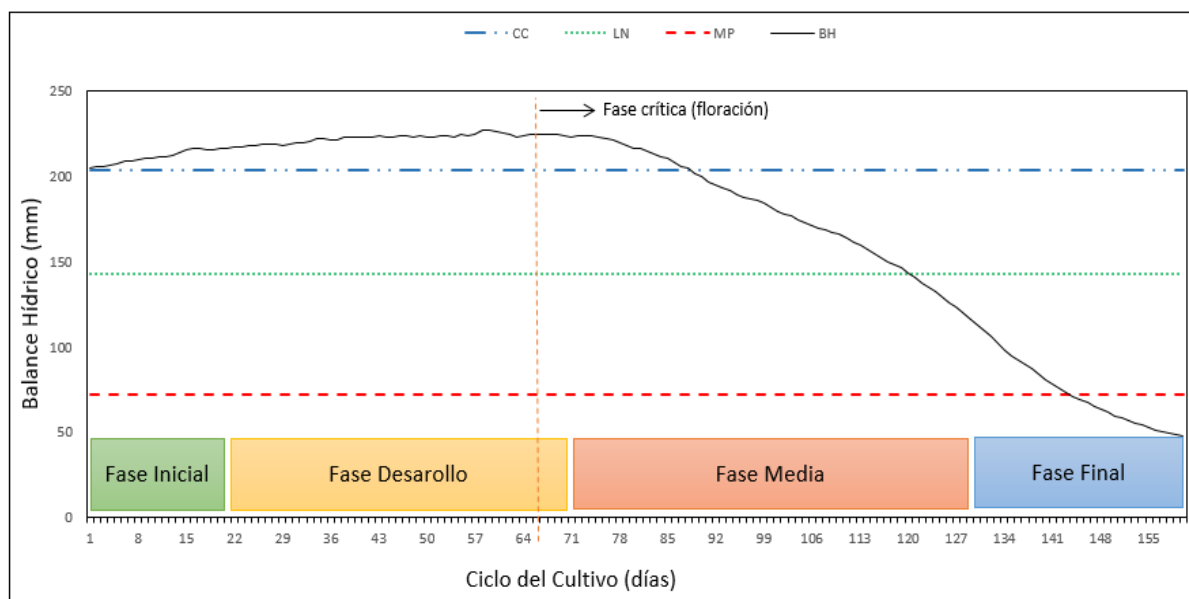


Figura 45. Balance hídrico para la fecha de siembra 14 de febrero.

En la Figura 46, se muestra que el 21 de febrero puede ser considerada como otra fecha de siembra alternativa para el cultivo de cebada, debido a que la distribución de la humedad en el suelo se mantiene en un nivel alto desde la fase inicial del cultivo, permitiendo una adecuada germinación de la semilla, el punto más alto de humedad en el suelo se encuentra en la fase de floración, que es donde mayor requerimiento de agua demanda el cultivo.

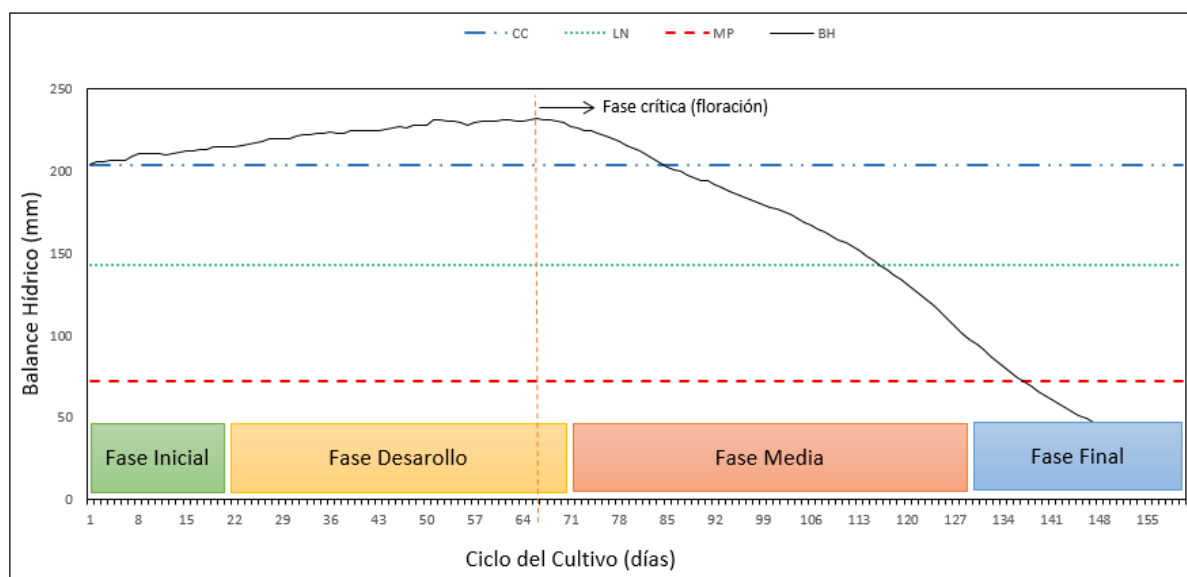


Figura 46. Balance hídrico para la fecha de siembra 21 de febrero.

Otra de las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de cebada, es el 28 de febrero (Figura 47), en donde la humedad del suelo es alta desde la primera fase fenológica, permitiendo que la semilla germine adecuadamente y no se pierdan plántulas por causa de un déficit hídrico, la fase fenológica más importante es la floración y el nivel de humedad es el adecuado en esta

fecha de siembra ya que se encuentra en su punto más alto del balance hídrico, asegurando una buena producción del cereal.

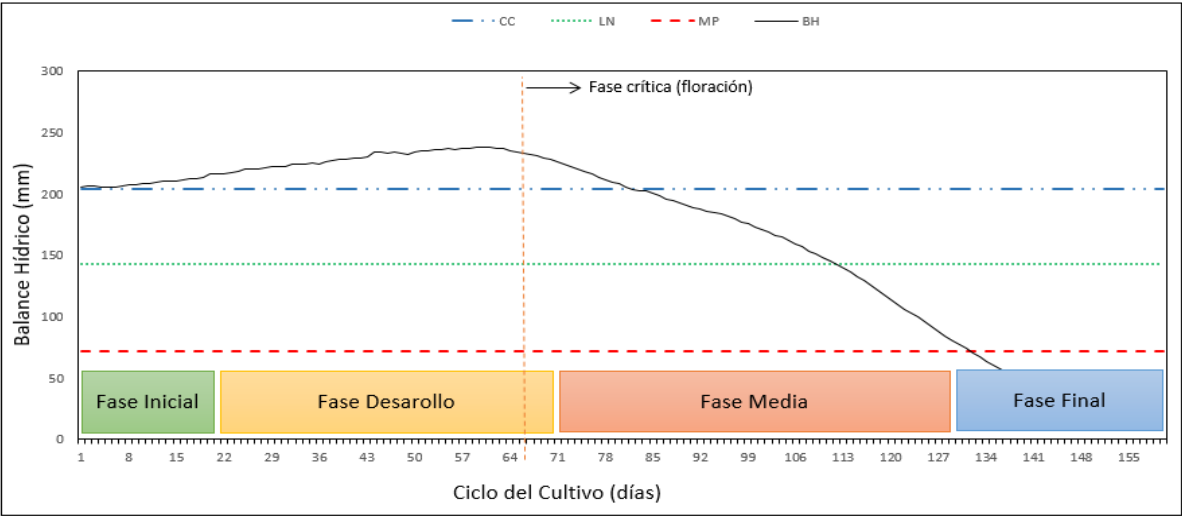


Figura 47. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de febrero.

La Figura 48 indica el contraste que existe entre la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor, frente a las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de cebada, como se puede apreciar, la diferencia existente es muy ligera ya que para este cultivo, la fecha de siembra del agricultor, resultó ser adecuada, debido a que la cantidad de humedad disponible abastece los requerimientos hídricos del cultivo durante todas las fases fenológicas, no obstante se observa una ligera disminución del contenido de humedad en la fase de floración, lo cual si se compara con las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica, los niveles de humedad en la fase de floración, resultan ser más adecuados para estas fechas.

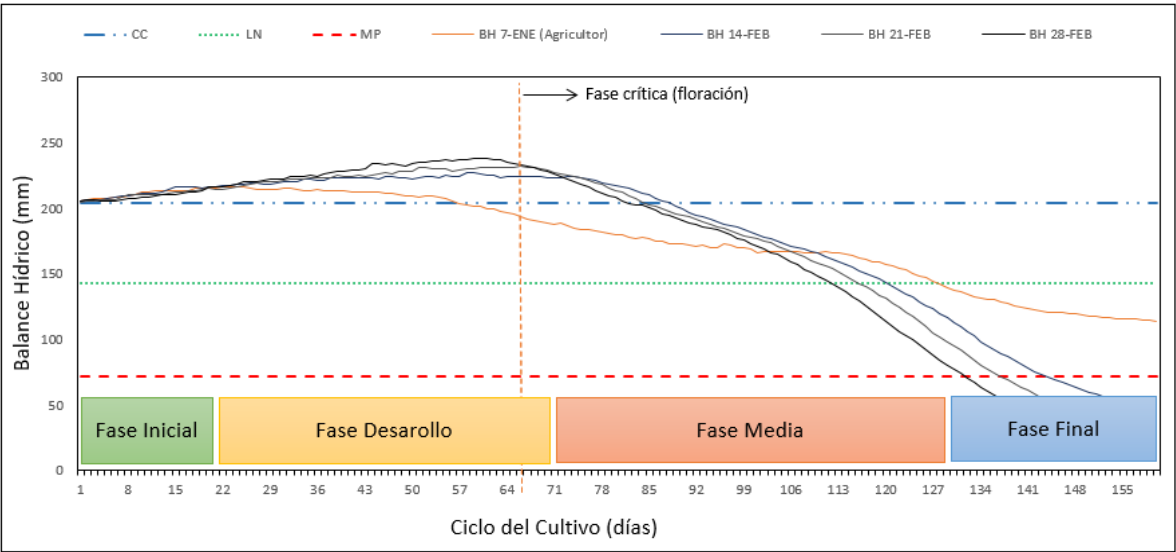


Figura 48. Comparación del Balance hídrico de la fecha de siembra del agricultor, con las fechas de mayor disponibilidad hídrica.

4.4.3. Cultivo de papa

Para el cultivo de papa se realizó un balance hídrico de 35 fechas de siembra, iniciando desde el mes de agosto hasta el mes de febrero (Cuadro 23), la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor fue el 01 de junio con un déficit hídrico de 381.64 mm, las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica fueron: 28 de noviembre con un déficit hídrico de 107.55mm, 28 de enero con un déficit hídrico de 170.52 mm y 28 de febrero con un déficit hídrico de 249.0 mm.

El análisis de los 36 escenarios (Cuadro 23) permitió conocer que la evapotranspiración real promedio fue de 367.12 mm, con un valor mínimo de 340.41 mm y máximo de 472.27 mm; la precipitación efectiva promedio fue de 197.89 mm, con un valor mínimo de 90.62 mm y un máximo de 237.07 mm y el balance hídrico promedio fue de -169.23 mm, con un rango que varía de -107.55 mm a -381.64 mm.

De esta información se desprende que las lluvias de la zona no cubren el requerimiento hídrico del cultivo de papa, el cual se encuentra en un rango que varía de 340.41 mm a 472.27 mm, por esta razón, los agricultores de la zona deciden utilizar variedades que se encuentran adaptadas a las condiciones de sequía, a lo cual se puede complementar con prácticas de manejo de cultivo que permitan una mayor retención de la humedad en el suelo.

En la Figura 49 se puede observar gráficamente el balance hídrico para el cultivo de papa sembrado en la fecha de mayor frecuencia del agricultor 01 de junio, el agua disponible en el suelo se encuentra en niveles adecuados únicamente en la fase inicial del cultivo, el nivel de humedad va en descenso llegando al punto de marchitez permanente justo en una de las etapas fenológicas más críticas para el cultivo siendo el momento de la floración ya que esta es la señal del inicio de la tuberización, según Román & Hurtado (2002), el cultivo de papa demanda mayor cantidad de agua en las etapas de germinación y crecimiento de los tubérculos, por lo tanto, el rendimiento del cultivo depende en gran medida de la buena cantidad de agua disponible en aquellas fases.

Cuadro 23. Balance Hídrico para el cultivo de papa en diferentes fechas de siembra

Fecha de siembra	Evapotranspiración real(mm)	Precipitación efectiva (mm)	Balance hídrico (mm)
JUN - 1	472.27	90.62	-381.64
AGO - 1	403.03	143.85	-259.18
AGO - 7	396.69	153.10	-243.59
AGO - 14	390.06	160.87	-229.19
AGO - 21	382.88	165.83	-217.06
AGO - 28	379.81	173.71	-206.11
SEP-1	377.91	178.42	-199.49
SEP-7	375.28	185.87	-189.41
SEP-14	372.79	192.85	-179.94
SEP-21	368.45	199.04	-169.41
SEP-28	364.77	205.82	-158.95
OCT-1	363.54	206.86	-156.68
OCT-7	360.12	210.53	-149.59
OCT-14	357.08	207.19	-149.89
OCT-21	352.59	209.43	-143.16
OCT-28	351.44	214.70	-136.75
NOV-1	351.21	218.62	-132.59
NOV-7	349.60	222.87	-126.73
NOV-14	347.63	231.18	-116.46
NOV-21	345.41	236.75	-108.66
NOV-28	344.63	237.07	-107.55
DIC-1	345.19	236.75	-108.45
DIC-7	344.08	233.80	-110.28
DIC-14	342.13	230.30	-111.83
DIC-21	340.88	224.99	-115.89
DIC-28	340.41	222.23	-118.18
ENE-1	341.33	222.33	-119.00
ENE-7	344.04	218.94	-125.09
ENE-14	350.71	210.58	-140.13
ENE-21	358.34	201.64	-156.69
ENE-28	365.49	194.97	-170.52
FEB-1	370.52	191.38	-179.14
FEB-7	376.82	185.57	-191.25
FEB-14	385.54	177.86	-207.69
FEB-21	395.74	168.56	-227.18
FEB-28	408.00	159.00	-249.00

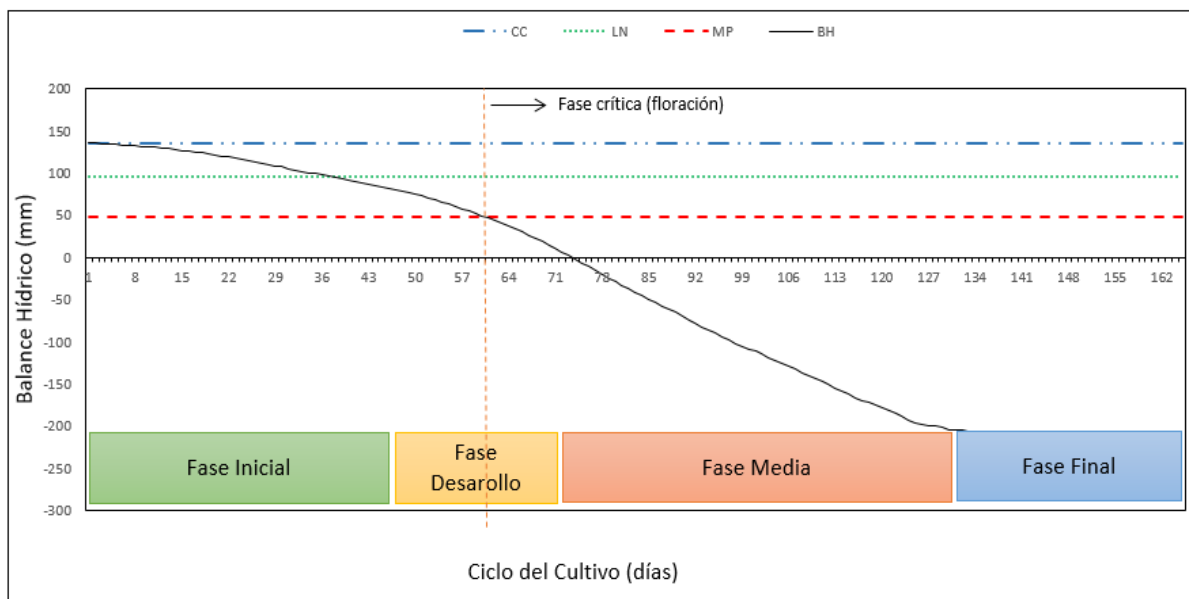


Figura 49. Balance hídrico para la fecha de siembra de mayor frecuencia del agricultor 01 de junio.

En la Figura 50, se muestra una de las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de papa, el ciclo del cultivo inicia el 28 de noviembre con la siembra, y finaliza el 10 de mayo (165 días), la humedad en el suelo, se distribuye de manera adecuada a lo largo de todo el ciclo del cultivo, manteniendo sus niveles más altos en la fase inicial y desarrollo, en esta última, se da la floración y posterior tuberización del cultivo que son las fases en las que mayor humedad disponible en el suelo debe existir, según Díaz (2016), un déficit hídrico en esta fase limita en gran manera el rendimiento, ya que se reduce el número y tamaño de los tubérculos formados, los periodos más críticos son 19 días antes y 19 días después de la fase de floración y tuberización.

En el estudio realizado por Chulde (2019) se determinó nuevas fechas de siembra para el cultivo de papa en San Gabriel, provincia del Carchi, la fecha de siembra del agricultor es el 14 de junio y las fechas con mayor disponibilidad hídrica son las tres primeras semanas de septiembre. Esto nos permite confirmar que las fechas de siembra se están modificando a nivel regional debido a la variación de los componentes climáticos como la precipitación y la temperatura.

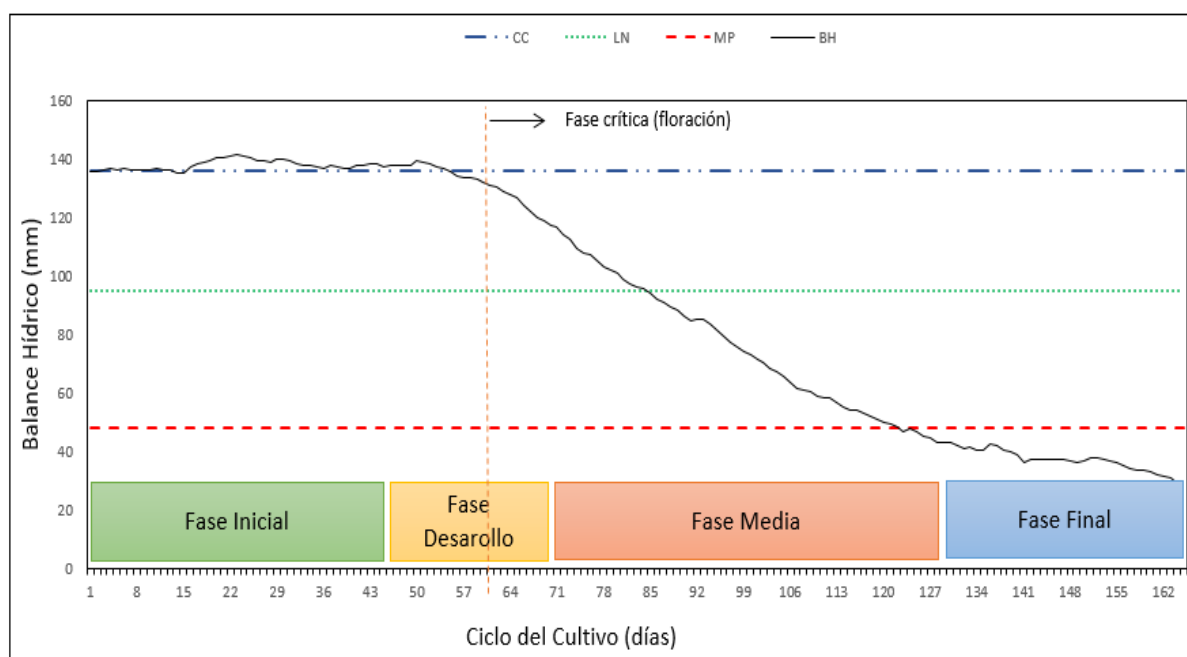


Figura 50. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de noviembre.

En la Figura 51 se representa otra de las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de papa. La fecha de siembra es el 28 de enero y el ciclo del cultivo culmina el 10 de julio (165 días), la distribución de la humedad en el suelo se mantiene en niveles adecuados durante todas las fases fenológicas del cultivo, pero sobre todo en la fase crítica del cultivo, lo que permite un adecuado desarrollo de los tubérculos y como resultado una buena producción del cultivo.

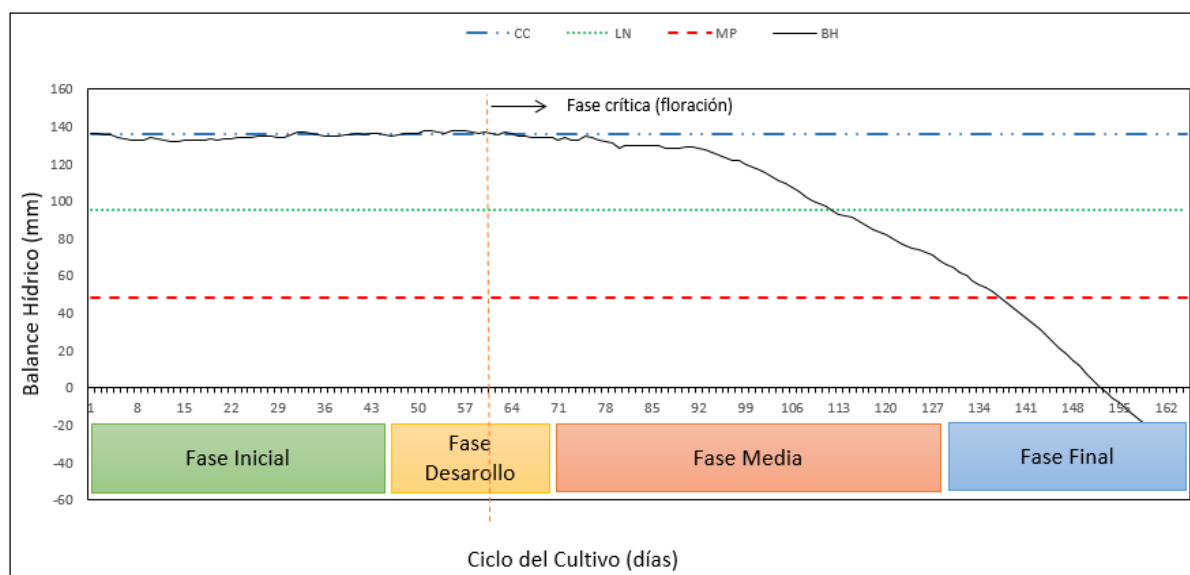


Figura 51. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de enero.

Otra fecha de siembra de mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de papa es el 28 de febrero, el ciclo del cultivo finaliza el 10 de agosto, como se puede observar en la (Figura 52), existe una mayor cantidad de agua disponible para el cultivo en la fase de floración que es el momento de la fase de

tuberización del cultivo según Sifuentes *et al.* (2009), la humedad en el suelo en la fase de tuberización debe ser suficiente ya que de esto depende la calidad del tubérculo. Un déficit de humedad en esta fase reducirá significativamente el número de tubérculos por cada planta.

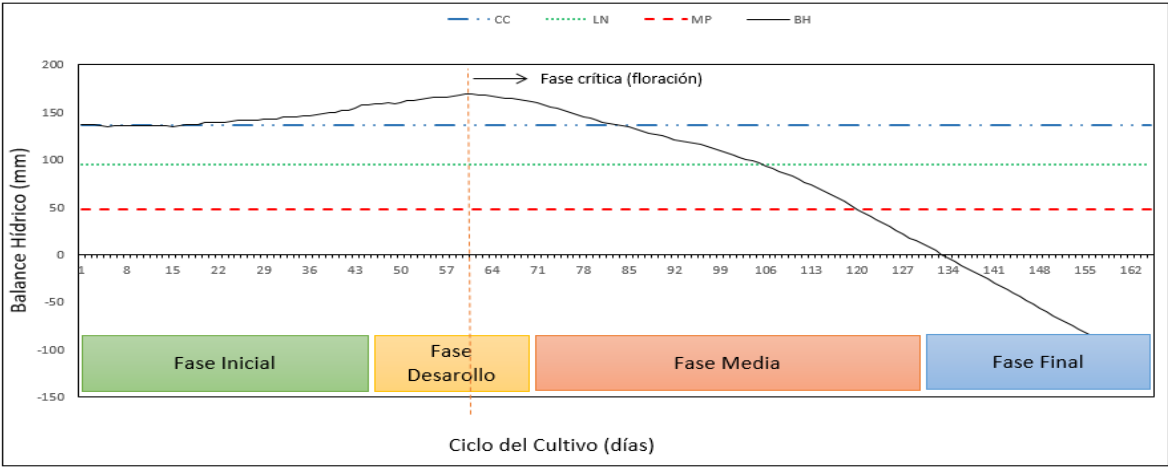


Figura 52. Balance hídrico para la fecha de siembra 28 de febrero.

La Figura 53, indica gráficamente la diferencia que existe entre la fecha de siembra de mayor frecuencia comúnmente utilizada por el agricultor, versus las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de papa, como se puede apreciar, la distribución de la humedad durante todo el ciclo del cultivo para la fecha de siembra del agricultor, no abastece los requerimientos hídricos del cultivo, inclusive en la fase de floración, el nivel de humedad disminuye drásticamente, llegando incluso al punto de marchitez permanente, lo cual perjudica severamente el proceso de tuberización del cultivo, afectando significativamente el rendimiento, a diferencia de las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica, donde la distribución de la humedad, satisface el requerimiento hídrico del cultivo durante todas las fases fenológicas del mismo, asegurando un buen rendimiento.

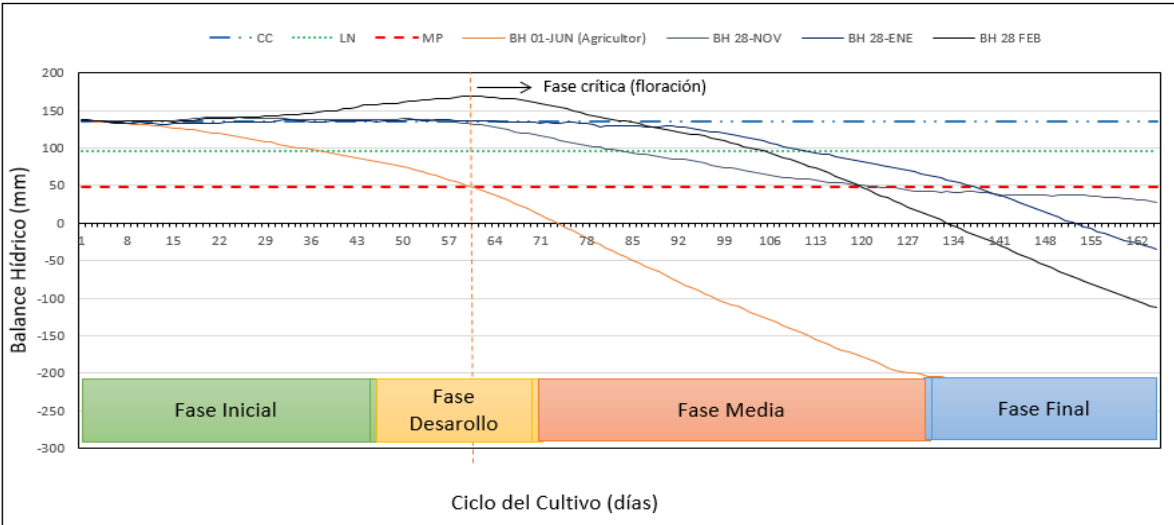


Figura 53. Comparación del Balance hídrico de la fecha de siembra del agricultor, con la fecha de mayor disponibilidad hídrica.

V. CONCLUSIONES

Se determinó que la variable temperatura mínima no registró variación a lo largo de los 27 años de la serie de datos. La temperatura máxima registró una tendencia positiva para los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. La humedad relativa, registró una tendencia negativa para los meses de marzo, abril, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre. La evaporación registró una tendencia negativa para los meses de enero, febrero, mayo, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre y finalmente la precipitación no registró ninguna tendencia.

De acuerdo con los resultados de las encuestas, se determinó que las fechas de siembra de mayor frecuencia de los agricultores fueron: maíz, la primera semana de septiembre; cebada, la primera y segunda semana de enero y para papa, la primera semana de junio, fechas en las cuales no existe la suficiente disponibilidad hídrica para su desarrollo.

Las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de maíz fueron: la primera, tercera y cuarta semana de febrero; para el cultivo de cebada, la cuarta semana de febrero y para el cultivo de papa, las últimas semanas de noviembre, enero y febrero. Estas nuevas fechas de siembra fueron determinadas a partir de un balance hídrico, en donde se consideró los límites de humedad óptima entre la lámina de agua aprovechable y la lámina neta.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar un seguimiento a la presente investigación, con ensayos aplicados en campo, directamente con los agricultores de la zona, con la finalidad de probar las fechas de siembra determinadas, contrastando con las del agricultor, aprovechando la influencia que tiene la facultad de ciencias agrícolas con sus diversos proyectos de vinculación con la sociedad en el cantón Pedro Moncayo.

Se debe implementar la combinación de prácticas de conservación de suelos y agua, para tratar de dar solución a los problemas de compactación, erosión, escorrentía y falta de humedad presentes en los suelos donde se realiza agricultura de temporal.

VII. RESUMEN

La agricultura de temporal es aquella que se desarrolla en condiciones donde no existe ningún tipo de irrigación, es decir que el requerimiento hídrico del cultivo es cubierto únicamente por el agua proveniente de la lluvia almacenada en el suelo durante el ciclo vegetativo del cultivo, los agricultores de temporal por lo general esperan la época lluviosa del año para realizar la siembra de sus cultivos y aspiran que esta sea lo suficientemente abundante para satisfacer los requerimientos hídricos de los cultivos (Escobar, 2014). Se estima que aproximadamente el 60% de la producción agrícola total a nivel mundial se obtiene de sistemas productivos bajo agricultura de temporal (FAO, 2011). En el Ecuador, la agricultura de temporal representa el 82% de la superficie agropecuaria, siendo en su mayoría explotadas por pequeños agricultores (SIGTIERRAS, 2015).

La agricultura es una actividad que depende totalmente de las condiciones ambientales como son: precipitación, temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento, entre otras, a diferencia de la agricultura convencional, la agricultura de temporal es la más afectada cuando uno de estos factores ambientales escasea principalmente la precipitación, debido a que el agua cumple un rol fundamental en el desarrollo y crecimiento de los cultivos.

En las últimas décadas, la dinámica atmosférica ha ido modificándose, observándose cambios en algunos componentes del ciclo hidrológico tales como la evapotranspiración y precipitación (Ojeda *et al.*, 2011). De igual forma según reportes del IPCC (2001), la temperatura del aire registra un incremento de 0.65 (°C) en el último siglo. Estas modificaciones en el clima se las denomina como “Cambio climático” y son causadas principalmente por el incremento de las emisiones de CO₂ en la atmósfera.

Debido a la variación en la distribución temporal de las precipitaciones, causado por el cambio climático, los agricultores de temporal mantienen cierto grado de incertidumbre al momento de realizar la siembra de sus cultivos, por lo tanto, tendrán que modificar sus fechas de siembra tradicionales y adaptar la curva de necesidades hídricas del cultivo con la curva de distribución de la precipitación, y de esta manera, evitar la reducción de la producción de sus cultivos causada por un déficit hídrico.

La investigación se realizó en la Parroquia Tabacundo, en donde, los principales cultivos de ciclo corto son: maíz, cebada y papa. Se realizó el análisis de la serie histórica de cinco variables monitoreadas en la estación agrometeorológica Tomalón – Tabacundo: temperatura mínima, temperatura máxima, humedad relativa, evaporación y precipitación, se realizó estadística descriptiva para el promedio mensual de la serie histórica de cada una de las variables climáticas mediante el software InfoStat, en el cual se calculó la media, mínima, máxima, coeficiente de variación y la desviación estándar, de igual

manera se realizó un análisis de la tendencia, mediante el test de Mann Kendall, para detectar tendencias en series de datos climáticos, que permiten encontrar cambios significativos en las variables climatológicas a lo largo del tiempo (Yu & Kao, 2007). Se realizó un total de 109 encuestas dirigidas a los agricultores de las comunidades San José Grande, San José Chico, San Joaquín y Guaraquí.

Para cada cultivo se analizó cinco fechas de siembra para siete meses, iniciando desde agosto hasta febrero, se determinó la precipitación probable al 75% según el método de la USDA y la evapotranspiración de referencia se calculó por el método FAO Penman – Monteith, el coeficiente de cultivo diario se determinó por el método de la FAO manual técnico N° 56, el balance hídrico se calculó para los 35 escenarios de cada cultivo, en el cual la fecha de siembra de mayor disponibilidad hídrica es aquella que varía entre Lámina de agua aprovechable y Lámina neta, desde la germinación hasta el llenado de granos.

En los resultados de variabilidad climática: la temperatura mínima no presentó ninguna tendencia significativa, la temperatura máxima presentó una tendencia positiva en los meses de abril a diciembre, la humedad relativa presentó una tendencia negativa en los meses de marzo, abril, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre; la evaporación presentó una tendencia negativa en los meses de enero, febrero, mayo, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre y la precipitación no presentó ninguna tendencia; los resultados de la encuesta reflejaron que las fechas de siembra de mayor frecuencia de los agricultores para el cultivo de maíz es la primera semana de septiembre, para el cultivo de cebada es la primera y segunda semana de enero y para el cultivo de papa es la primera semana de junio, además se evidenció que los agricultores creen en la existencia del cambio climático, percibiendo cambios en la precipitación y temperatura. En cuanto al análisis del balance hídrico, las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica para el cultivo de maíz son: 1, 14 y 28 de febrero, presentando una buena distribución de la humedad en el suelo durante las fases fenológicas más importantes para el desarrollo del cultivo sobre todo en las fases críticas, para el cultivo de cebada, las fechas de siembra con mayor disponibilidad hídrica son: 14, 21 y 28 de febrero asegurando el correcto desarrollo del cultivo ya que la cantidad de agua en el suelo mantiene niveles adecuados en la fase crítica del cultivo, para el cultivo de papa, las fechas de siembra de mayor disponibilidad hídrica son: 28 de noviembre, 28 de enero y 28 de febrero, las cuales presentan una adecuada distribución de la humedad en el suelo en la etapa crítica del cultivo, a diferencia de la fecha de siembra comúnmente utilizada por el agricultor.

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Encuesta

UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

Ingeniería Agronómica

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

Objetivo: Elaboración del calendario de siembra para los cultivos de maíz, cebada y papa en Tabacundo bajo la agricultura de temporal.

*Si cuenta con algunos los cultivos de ciclo corto como maíz, cebada 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

5.- Edad del Agricultor

6.- Sexo

1.- hombre

2.- mujer

7.- Nivel de escolaridad

1. Ninguna
2. Primaria
3. Secundaria
4. Tecnología
5. Superior
6. Otros

C.- Datos Socioeconómicos

8.- La UPA donde cultiva es:

1. Propio
2. Arrendado
3. Prestada

9.- El ministerio de agricultura ha realizado charlas sobre fechas de siembra

- 1.- Si
- 2.- No

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

10.- ¿Cree usted que existe el cambio climático?		1.SI	Pase a la pregunta 11
		2 NO	

11.- ¿Ha notado la presencia del cambio climático?		1.SI	pase a la pregunta 12
		2 NO	

12.- ¿Ha percibido usted el cambio de temperatura?		1.No
		2.Ligeramente
		3.Marcado

13.- ¿Ha percibido usted el cambio en las lluvias?		1.No
		2.Ligeramente
		3.Marcado

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

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

16.- En Cuanto a las Fechas de siembra, ¿ha cambiado la época de siembra tradicional o se mantiene?		1.SI
		2 NO

17.- ¿Qué criterios toma en cuenta para las fechas de siembra?

- 1.Precipitación
- 2.Calendario lunar
3. Almanaque
4. todas

18.- ¿Cuál es la fecha de siembra para los siguientes cultivos?:

Cultivo	Mes	Semana	Superficie	Razón de siembra
Maíz				
Cebada				
Papa				

19.- ¿Qué variedad utiliza para el cultivo de cebada y considera que esta variedad está adaptada a las condiciones climáticas de la zona?

Variedad _____

Adaptación

☐

1. Si

2. No

¿Por qué? _____

20.- ¿Qué variedad utiliza para el cultivo de maíz, y considera que esta variedad está adaptada a las condiciones climáticas de la zona?

Variedad _____

Adaptación

☐

1. Si

2. No

¿Por qué? _____

21.- ¿Qué variedad utiliza para el cultivo de papa, y considera que esta variedad está adaptada a las condiciones climáticas de la zona?

Variedad _____

Adaptación

☐

1. Si

2. No

¿Por qué? _____

22.- ¿Qué percepción tuvo en cuanto la producción de sus cultivos un año húmedo?

Maíz

☐

Cebada

☐

Papa

☐

1. Buena

2. Regular

3. Mala

1. Buena

2. Regular

3. Mala

1. Buena

2. Regular

3. Mala

¿Por qué? _____

23.- ¿Qué percepción tuvo en cuanto la producción de sus cultivos un año seco?

Maíz

- 1. Buena
- 2. Regular
- 3. Mala

Cebada

- 1. Buena
- 2. Regular
- 3. Mala

Papa

- 1. Buena
- 2. Regular
- 3. Mala

¿Por qué? _____

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abel, S. (2013). *Análisis de la agricultura de temporal en México y su relación con las cuestiones climáticas; caso maíz y frijol*. 82.
- Abtew, W., & Melesse, A. (2013). *Evaporation and Evapotranspiration Measurements and Estimations*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4737-1>
- Alencar da Silva Alves, 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>
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297.
- Álvarez, F. (2016). *Estadística descriptiva Métodos Estadísticos Aplicados a las Auditorías Sociolaborales*. 1–47. disponible en URL: https://www.academia.edu/29050852/Estadística_descriptiva_F._Álvarez_-_1_ESTADÍSTICA_DESCRIPTIVA_Métodos_Estadísticos_Aplicados_a_las_Auditorías_Sociolaborales
- Badillo, M. (2018). *Análisis del cambio climático y su incidencia en el sector agrícola en el Ecuador en el año 2017* (Pontificia Universidad Católica del Ecuador). Disponible en URL: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14973/ANÁLISIS_DEL_CAMBIO_CLIMÁTICO_Y_SU_INCIDENCIA_EN_EL_SECTOR_AGRÍCOLA_EN_EL_ECUADOR_EN_EL_AÑO_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Barco, J., Cuartas, A., Mesa, O., & Poveda, G. (2000). Estimación de la evaporación en Colombia. *Avances En Recursos Hidráulicos*, 7. Disponible en URL: http://bdigital.unal.edu.co/6013/1/No._7-2000-4.pdf
- Barros, J., & Troncoso, A. (2010). *Atlas climatológico del Ecuador*. Disponible en URL: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1720>
- Basantes, E. (2015). *Manejo de Cultivos Andinos Del Ecuador*. Disponible en URL: https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo_Cultivos_Ecuador.pdf
- Bastidas, W. (2016). *Guía climática agroecoturística para el cantón Quito-provincia de Pichincha 2014*. 107. disponible en URL: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/6085/1/T-UCE-0004-01.pdf>
- Bates, B., & Kundzewicz, S. (2008). *El Cambio Climático y el Agua. Documento técnico del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. 2008. disponible en URL: <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/ccw/climate-change-water-sp>
- Beltrán, S., Loredó, C., & Díaz, M. (2011). *Manejo integrado del cultivo de cebada en condiciones de temporal en San Luis Potosí*. Disponible en URL: <http://www.inifapcirne.gob.mx/Biblioteca/Publicaciones/880.pdf>
- Bergamaschi, H., Dalmago, G. A., Comiran, F., Bergonci, J. I., Müller, A. G., França, S., Pereira, P. G. (2006). Déficit hídrico e productividad na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(2), 243–249. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200008>
- Bressani, R. (1993). El maíz en la nutrición humana. Retrieved June 6, 2019, from Alimentación y nutrición, N°25 website: <http://www.fao.org/3/t0395s/T0395S01.htm#Prefacio>
- Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (2012). *Manual de Riego y Drenaje*. 31. disponible en URL: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/1338/1/01.pdf>
- Cáceres, L., Mejía, R., & Ontaneda, G. (2014). *Evidencias del cambio climático en Ecuador*. (September).

Disponible en URL:
https://www.researchgate.net/publication/26431160_Evidencias_del_cambio_climatico_en_Ecuador

- Cáceres, L., & Núñez, A. (2011). *Segunda Comunicación Nacional sobre Cambio Climático 2011. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Ministerio del Ambiente del Ecuador*. Disponible en URL: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/ecunc2.pdf>
- Casa, R., Russell, G., & Lo Cascio, B. (2000). Estimation of evapotranspiration from a field of linseed in central Italy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 104(4), 289–301. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00172-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00172-6)
- CDKN. (2014). El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC ¿Qué implica para Latinoamérica? *Alianza Clima y Desarrollo (CDKN)*, 40. Disponible en URL: <https://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>
- Chulde, P. (2019). *Determinación de las fechas de siembra al temporal para los cultivos de fréjol, maíz y papa en San Gabriel - Carchi*. Disponible en URL: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19538>
- Cleves, J., Martínez, L., & Toro, J. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 2016. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>
- Coral, J. (2017). *CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y AGRONÓMICA DE DOS GENOTIPOS DE MAÍZ (Zea mays L.) EN LA ZONA MEDIA DE LA PARROQUIA MALCHINGUÍ*. 93. disponible en URL: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13056/1/T-UCE-0004-42-2017.pdf>
- Córdova, R., Hogarth, N. J., & Kanninen, M. (2019). Mountain farming systems' exposure and sensitivity to climate change and variability: Agroforestry and conventional agriculture systems compared in Ecuador's Indigenous Territory of Kayambi people. *Sustainability (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/su11092623>
- Deras, H. (2012). *Guía técnica El cultivo del maíz*. Disponible en URL: <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf>
- Díaz, P. (2016). *Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa criolla (Solanum phureja Juz et Buk)*. 9–15. Disponible en URL: <http://www.bdigital.unal.edu.co/51030/1/43996958.2016.pdf>
- Erreis, R. (2015). *Evaluación del efecto del cambio climático en los cultivos de la zona de Santa Rosa de Cusubamba, Cantón Cayambe, Provincia de Pichincha*. Disponible en URL: <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/12373/1/T-ESPE-049610.pdf>
- Escobar, R. (2014). El Cultivo De Secano. *Revista Geografía Agrícola*, 52–53, 61–113. Disponible en URL: <https://www.redalyc.org/pdf/757/75749284005.pdf>
- Escobedo, D., & Báez, A. (2011). *Tecnología de Fertilización y Riego para Producir Cebada Maltera con Nuevas Variedades de Riego en Guanajuato*. disponible en URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwj7luTVvYjmAhXwp1kKHSUaBI4QFjAAegQIAxAC&url=http%3A%2F%2Fwww.inifap.gob.mx%2Fcirce%2FDocuments%2Fpublicto%2FTECNOLOGIA%2520DE%2520FERTILIZACION%2520Y%2520RIEGO.pdf&usg=AOvVaw33_hWhX
- FAO. (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture*. <https://doi.org/10.4324/9780203142837>
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Disponible en URL: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/captacion_agua_de_lluvia.pdf

- Farfán, F. (2018). *Agroclimatología del Ecuador*. 647. disponible en URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKewj8-vLxwljmAhWquVkkHaEYB0kQFjAAegQIAxAC&url=https%3A%2F%2Fdspace.ups.edu.ec%2Fbitstream%2F123456789%2F17047%2F1%2FAgroclimatologia%2520del%2520Ecuador.pdf&usg=AOvVaw2YztUwrMHhqOJsxn>
- Fernández, M. (2013). *Efectos del cambio climático en la producción y rendimiento de cultivos por sectores*. 0–49. Disponible en URL: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Efectos+del+Cambio+Climatico+en+la+agricultura.pdf/3b209fae-f078-4823-afa0-1679224a5e85>
- FIRA. (2016). Panorama Agroalimentario Maíz 2016. *Fideicomisos Instituidos En Relación Con La Agricultura*, 2–38. Disponible en URL: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf
- Flores, L., & Ruíz, J. (1998). Estimación de la humedad del suelo para maíz de temporal mediante un balance hídrico. *Terra Latinoamericana*, 16(3), 219–229. Disponible en URL: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57316305.pdf>
- Gad Municipal Pedro Moncayo. (2016). *Adaptación al cambio climático fortaleciendo la agricultura familiar campesina, cadenas de valor y soberanía alimentaria en el Cantón Pedro Moncayo*. 1–14. Disponible en URL: http://www.pedromoncayo.gob.ec/documentos/proyectos/89Agricultura_familiar.pdf
- GAD Pedro Moncayo. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial PDOT Pedro Moncayo*. 1. disponible en URL: <http://www.pedromoncayo.gob.ec/documentos/ord2015/PDOT.pdf>
- Geoportal IGM. (2013). Cartografía de Libre Acceso Escala 50k – Geoportal Ecuador. Retrieved October 9, 2019, from <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- Gómez, R., Ortiz Solorio, C. A., Zamora Díaz, M., Soria Ruíz, J., Trinidad Santos, A., & Carballo Carballo, A. (2009). ESTIMACIÓN DEL RENDIMIENTO DE CEBADA (*Hordeum vulgare* L.) MALTERA CON EL MÉTODO FAO. *Agricultura Técnica En México*, 35, 13–23. Disponible en URL: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v35n1/v35n1a2.pdf>
- Hernández, M. L. (2017). La agroclimatología: instrumento de planificación agrícola. *Geographicalia*, 30(30), 213. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1993301819
- Hinkel, J., Bharwani, S., Bisaro, A., & Carter, T. (2013). Guidance on assessing vulnerability, impacts and adaptation to Climate Change. *UNEP*. Disponible en URL: <https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/downloads/provia-guidance-nov2013.pdf>
- Hou, L. gong, Zou, S. bing, Xiao, H. lang, & Yang, Y. gang. (2013). Sensitivity of the reference evapotranspiration to key climatic variables during the growing season in the Ejina oasis northwest China. *SpringerPlus*, 2(1), 4–9. <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-S1-S4>
- IEE. (2013). *GENERACIÓN DE GEOINFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL TERRITORIO A NIVEL NACIONAL ESCALA 1:25.000*. Disponible en URL: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/ZONA2/NIVEL_DEL_PDOT_CANTONAL/PICHINCHA/PEDRO_MONCAYO/IEE/MEMORIA_TECNICA/mt_pedro_moncayo_clima_hidrologia.pdf
- INAMHI. (2018). *Serie histórica mensual*. Quito.
- INEC. (2019). Registro de Descargas Cartográficas |. Retrieved November 26, 2019, from <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/registro-de-descargas-cartograficas/>
- INIAP. (2014a). Cebada. Retrieved June 7, 2019, from

<http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal/rcebada>

INIAP. (2014b). Papa. Retrieved June 7, 2019, from <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mraiz/rpapa>

IPCC. (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 12(3), 525–893. Disponible en URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WGI_TAR_full_report.pdf

IPCC. (2013). *Climate Change 2013 The Physical Science Basis*. Disponible en URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report; Chapter Observed Changes and their Causes*. Disponible en URL: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf

Jaramillo, Á., Ramírez, V., & Arcila, J. (2011). DISTRIBUCIÓN DE LA LLUVIA Clave para planificar las labores en el cultivo del café en Colombia. *Cenicafé*, 8. Disponible en URL: <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt04113.pdf>

Kassam, K. A. S., Ruelle, M. L., Samimi, C., Trabucco, A., & Xu, J. (2018). Anticipating Climatic Variability: The Potential of Ecological Calendars. *Human Ecology*, 46(2), 249–257. <https://doi.org/10.1007/s10745-018-9970-5>

Kocisova, E., Sureau, F., Praus, P., Rosenberg, I., Stepanek, J., & Turpin, P.-Y. (2003). Monitoring of labeled antisense oligonucleotides within living cells by using a multifrequency phase/modulation approach for fluorescence lifetime measurements. *Journal of Molecular Structure*, 651–653, 115–122. [https://doi.org/10.1016/S0022-2860\(02\)00637-3](https://doi.org/10.1016/S0022-2860(02)00637-3)

Legarda, L., Puentes, G., & Benavides, H. (2000). *Importancia de los parámetros hidrofísicos del suelo*. disponible en URL: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiD39rBydTIAhWlpFkKHb7wDkwQFjADegQIABAC&url=https%3A%2F%2Fdigitalnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F6191459.pdf&usq=AOvVaw0wzXj6XpHnrSHHV87BHFlp>

Limaico, K. (2019). *Determinación de las fechas de siembra de tres cultivos al temporal, con base en el Kc del cultivo y el agua disponible en Tumbaco*. Disponible en URL: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18511/1/T-UCE-0004-CAG-084.pdf>

López, J. (2006). *MANUAL DE EDAFOLOGÍA*. Disponible en URL: http://ciag-umsa.es/wp-content/uploads/2018/12/suelo-completo_manual-de-edafologia.pdf

López, V. L. (2013). Propuesta Metodológica para el Rediseño de una Red Meteorológica en un Sector de la Región Andina Colombiana. *Publicaciones e Investigación*, 8(1), 55.

Magrin, G. (2015). Adaptación al cambio climático en América Latina y el Caribe. *Repositorio Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL)*, 80. Disponible en URL: <http://www.cepal.org/es/publicaciones/39842-adaptacion-al-cambio-climatico-america-latina-caribe>

Martínez, L. (2013). La agricultura familiar en el Ecuador. *RIMISP*, 39. Disponible en URL: http://portalsiget.net/ArchivosSIGET/recursos/Archivos/1682015_AgriculturaFamiliarE.pdf

Martínez, L., Ibacache, A., & Rojas, L. (2007). Efecto de las Heladas en la Agricultura. *Boletín INIA. Ministerio de Agricultura Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA. La Serena Chile.*, Vol. 165, p. 68. Disponible en URL: <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/Boletines/NR34600.pdf>

Miralles, D. (2017). Criterios y herramientas para la elección de fechas de siembra en los cereales y oleaginosos invernales. Retrieved October 19, 2019, from 148 website: <http://www.cpia.org.ar/agropost/201702/nota2.html>

MMA. (2017). *Guía de apoyo docente en Cambio Climático*. Disponible en URL:

<http://portal.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2018/08/Guia-de-apoyo-docente-en-Cambio-Climatico.pdf>

- Muñoz, F., & Cruz, L. (1984). *Manual del Cultivo de Papa* (p. 45). p. 45. Disponible en URL: <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/807/4/iniapscm5.pdf>
- Muñoz, G. (2007). *El reto de la Agricultura frente al cambio climático*. 83–89. Disponible en URL: https://www.revistajuridicaonline.com/wp-content/uploads/2011/12/83_a90_el_reto.pdf
- Murray, R., & Larry, S. (2005). *Estadística*. Disponible en URL: https://www.academia.edu/39346796/Estadística_Serie_Schaum_-_Murray_R._Spiegel_and_Larry_J._Stephens_-_4ED
- Nelson, G., Rosegrant, M., Koo, J., & Robertson, R. (2009). *Cambio Climático El impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Disponible en URL: http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/costo_adaptacion.pdf
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Íñiguez, M., & Montero, M. (2011). Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos. *Agrociencia*, 45(1), 1–11. Disponible en URL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952011000100001&script=sci_arttext&tlng=en
- Olivares, B. (2018). Condiciones tropicales de la lluvia estacional en la agricultura de secano de Carabobo, Venezuela. *Ciencias de La Vida*, 27(2018:86-102), 86–102. Disponible en URL: https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15408/1/Lgr_n27_Olivares.pdf
- Ospina, J. G. (2015). *Manual técnico del cultivo de maíz bajo buenas prácticas agrícolas*. Disponible en URL: <https://www.worldcat.org/title/manual-tnico-del-cultivo-de-maz-bajo-buenas-prcticas-agrcolas/oclc/961876947>
- Peñaherrera, D. (2011). *Manejo integrado de los Cultivos de Trigo y Cebada. Módulos de Capacitación para Capacitadores. Módulo III. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP*. 16, 48. Disponible en URL: <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/2719/1/iniapscpm183.PDF>
- Pérez, C., Lahera, I., Manrique, O., Victoria, M., & Díaz, C. (2010). Coeficientes de cultivo para la programación del riego de la piña. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19(3) (3), 23–27. Disponible en URL: <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v19n3/rcta05310.pdf>
- Pino, S., & Aguilar, H. (2018). Aporte del sector agropecuario a la economía del Ecuador. Análisis crítico de su evolución en el período 2000-2016. *Espacios*, 39(32), 11. Disponible en URL: <https://www.revistaespacios.com/a18v39n32/a18v39n32p07.pdf>
- Pita, S., & Pértiga, S. (2001). Estadística descriptiva de los datos. *Complejo Hospitalario Juan Canalejo. A Coruña*. 2001, 1-5, 1–5. Disponible en URL: <https://www.fisterra.com/gestor/upload/guias/10descriptiva2.pdf>
- Quishpe, B. (2015). *Determinación de sostenibilidad ambiental, social y económica de tres tipologías de producción agropecuaria de la Junta de Riego Porotog, cantón Cayambe, provincia Pichincha*. Disponible en URL: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8012/1/UPS-QT06643.pdf>
- Rodríguez, M. (2009). Cambio climático lo que está en juego. *Foro Nacional Ambiental*. Disponible en URL: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/kolumbien/07216.pdf>
- Rojas, R., & Domínguez, I. (2004). Influencia de las variables agrometeorológicas sobre el desarrollo del cultivo del tabaco (*Nicotina tabacum*, L.) en la provincia de Villa Clara. *Centro Agrícola*, 3–4(3), 108–112. disponible en URL: https://www.researchgate.net/profile/Reinaldo_Aleman/publication/277004721_Influencia_de_las_variables_agrometeorologicas_sobre_el_desarrollo_del_cultivo_del_tabaco_Nicotiana_tabacum_L_en_la_provincia_de_Villa_Clara/links/555d316c08ae86c06b5d6270/Influenc

- Román, M., & Hurtado, G. (2002). Guía Técnica Cultivo de la Papa. *Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal*, 34. Disponible en URL: <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia Papa.pdf>
- Ruston, A. (2012). Estadística Descriptiva, Probabilidad e Inferencia. In *Aplicada, Una visión conceptual y.* disponible en URL: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120284/Rustom_Antonio_Estadistica_descriptiva.pdf?sequence=1
- Samaniego, N., Eguiguren, P., Maita, J., & Aguirre, N. (2015). Clima de la Región Sur el Ecuador: historia y tendencias. *Cambio Climático y Biodiversidad: Estudio de Caso de Los Páramos Del Parque Nacional Podocarpus, Ecuador*, (December), 43–62. Disponible en URL: https://nikolayaguirre.files.wordpress.com/2011/12/libro_biodiversidad_cambio_climatico_marzo_2016.pdf
- Sánchez, M. (2017). *Percepciones de agricultores Tsotsiles sobre el clima, variabilidad climática y sus cambios en la localidad "Veinte Casas" Reserva de la Biosfera Selva El Ocote, Chiapas.* disponible en URL: https://www.researchgate.net/publication/323265268_Percepciones_de_agricultores_tsotsiles_sobre_el_clima_variabilidad_climatica_y_sus_cambios_en_la_localidad_Veinte_Casas_Reserva_de_la_Biosfera_Selva_El_Ocote_Chiapas/link/5a8aea930f7e9b1a9554c3b8/download
- Sandaña, P. (2016). Manejo Agronómico del cultivo de papa. Retrieved June 7, 2019, from <https://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&etapa=6>
- Seemann, J., & Primault, C. J. L. B. (1979). *Agrometeorology*. Disponible en URL: <https://www.springer.com/de/book/9783642672903>
- Serrano, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, 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*, 16(2), 23. <https://doi.org/10.17163/lgr.n16.2012.03>
- Sidibé, Y., Foudi, S., Pascual, U., & Termansen, M. (2018). Adaptation to Climate Change in Rainfed Agriculture in the Global South: Soil Biodiversity as Natural Insurance. *Ecological Economics*, 146(December 2017), 588–596. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.12.017>
- Sifuentes, E., Cervantes, J., Apodaca, M., & Cortez, E. (2009). *Predicción de la fenología de papa: Principios y aplicaciones prácticas*. 24. disponible en URL: [http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1644/Prediccion de la fenología de papa principios y aplicaciones practicas.pdf?sequence=1](http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1644/Prediccion_de_la_fenologia_de_papa_principios_y_aplicaciones_practicas.pdf?sequence=1)
- SIGTIERRAS. (2015). CATALOGO DE METADATOS DE SIGTIERRAS -MAGAP ESCALA 1:25.000. Retrieved February 16, 2020, from http://metadatos.sigtierras.gob.ec:8080/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/SP_Nacional_01032018
- Singh, S. N. (2009). Climate Change and Crops. *Springer*, (July 2014). <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88246-6>
- SIPA. (2018). Cifras Agroproductivas. Retrieved June 6, 2019, from <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Sneyers, R. (1966). *On the statistical analysis of series of observations*. Disponible en URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=1065
- Taner, A., Muzaffer, A., & Fazil, D. (2004). Barley: Post-harvest Operations. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, 1–64. Disponible en URL: <http://www.fao.org/3/au997e.pdf>

- Tola, J. (1972). "DORADA" Nueva variedad de cebada para el Ecuador. Disponible en URL: <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/161/1/iniapscbd4.pdf>
- Trujillo, J. (2017). *La fanesca. Antropología de la culinaria ritual ecuatoriana*. Disponible en URL: <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec:8080/bitstream/10469/13813/1/REXTN-ED102-15-Avila.pdf>
- UNFCCC. (1992). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. *Convención Marco de Las Naciones Unidas Sobre El...*, 62301, 98. Disponible en URL: https://unfccc.int/files/essential_background/background_publications_htmlpdf/application/pdf/convsp.pdf
- UPA. (2018). Manual de adaptación frente al cambio climático Cultivos herbáceos de secano. *Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos*. Disponible en URL: http://www.upa.es/upa/_depot/_uploadImagenes00/CambioClimatico_HerbaceosSecano.pdf
- Villanueva, J., Loredó, C., & Hernández, R. (2001). *REQUERIMIENTOS HIDRICOS DE ESPECIES ANUALES Y PERENNES EN LAS ZONAS MEDIA Y ALTIPLANO DE SAN LUIS POTOSI*. (12). disponible en URL: <http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/jspui/bitstream/handle/123456789/1005/755.pdf?sequence=1>
- Waller, P., & Yitayew, M. (2016). Crop Evapotranspiration. In *Irrigation and Drainage Engineering*. Disponible en URL: https://rd.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-05699-9_6
- Winckell, A., Marocco, R., Winter, T., Huttel, C., Pourrut, P., Zebrowski, C., & Sourdut, M. (1997). Los Paisajes Naturales del Ecuador. Volumen 1- Las condiciones generales del medio natural. In *Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas*. Disponible en URL: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-07/010022380.pdf
- Wong, S., & Ludeña, C. (2006). Caracterización de la Agricultura Familiar en Ecuador. *Banco Interamericano Para El Desarrollo*, 1, 78. Disponible en URL: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/desrural/fao-bid/tlc/pdf/ideecu.pdf
- Yanangómez, L. (2018). *Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (Zea mays L.) en la parroquia Malacatos sector "San José."* disponible en URL: https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/21176/1/LUIS_VICENTE_YANANGÓMEZ_AGILA.pdf
- Yáñez, C., Zambrano, J., Caicedo, M., & Heredia, J. (2013). *Guía de producción de Maíz para pequeños agricultores y agricultoras*. (96). disponible en URL: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2435>
- Yu, J. Y., & Kao, H. (2007). Decadal changes of ENSO persistence barrier in SST and ocean heat content indices: 1958-2001. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 112(13), 1–10. Disponible en URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2006JD007654>