

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/343163774>

Planificación y calendarización de siembra en la zona maicera de la provincia de Loja, como medida de mitigación a las sequías.

Thesis · July 2020

CITATION

1

READS

68

2 authors, including:



Randon Ortiz Calle
Central University of Ecuador

59 PUBLICATIONS 35 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



AGRICULTURA DE TEMPORAL [View project](#)



OPTIMIZACIÓN DEL USO DEL AGUA DE RIEGO POR GOTEO [View project](#)



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
INSTITUTO SUPERIOR DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

I PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS Y
RIEGO

Título: Planificación y calendarización de siembra en la zona maicera de la provincia de Loja, como
medida de mitigación a las sequías

Trabajo de investigación previo a la obtención del Título de Magister en Gestión Integrada de
Recursos Hídricos y Riego

AUTOR: Carlos Daniel Freire Serrano

TUTOR: M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

Quito, 2019

DERECHOS DE AUTOR

Yo, CARLOS DANIEL FREIRE SERRANO, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación **«Planificación y calendarización de siembra en la zona maicera de la provincia de Loja, como medida de mitigación a las sequías»**, 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 una licencia gratuita, intransferible y no 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.

Asimismo, 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. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

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

Firma: _____

Nombres y Apellidos: Carlos Daniel Freire Serrano

CC. 1104210123

Dirección electrónica: cadafres_4@hotmail.com

APROBACIÓN DEL TUTOR/A

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, presentado por CARLOS DANIEL FREIRE SERRANO, para optar por el Grado de Magister en Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Riego; cuyo título es: **PLANIFICACIÓN Y CALENDARIZACIÓN DE SIEMBRA EN LA ZONA MAICERA DE LA PROVINCIA DE LOJA, COMO MEDIDA DE MITIGACIÓN A LAS SEQUIAS**, 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 12 días del mes de octubre de 2019.

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

DOCENTE-TUTOR

C.C. 1102697396

DEDICATORIA

A Dios.

A mi familia.

Dedico el presente trabajo a mi madre hermosa por ser la persona quien llena de ilusión mi corazón y siempre me ha educado con el ejemplo de su vida, a mi padre por sus consejos y perseverancia para conseguir lo propuesto, a mi hermana Verónica por su relación de hermandad desde que tengo uso de razón y su paciencia ante mi persona, a mi hermana Karlita quien con su llegada brindó a mi vida una razón ferviente e imparable de luchar, chiquita inteligente, adorable, amorosa en una palabra Única, con quien he podido compartir los mejores momentos de mi vida. A mi querido sobrino Leonel, a quien conozco por fotografías y espero lo más pronto posible darle un gran abrazo y decirle al oído lo mucho que nos divertiremos juntos; y a mi cuñado Byron, por su espíritu académico y de planificación.

Finalmente, este tiempo de estudios y tesis me ha hecho conocer que soy una persona muy fuerte, por cada obstáculo que tenga en la vida hallaré dos soluciones y lucharé para salir adelante. Tras varios años de estudio y de soledad puedo decir que me he demostrado, que SI PUEDO y voy por más.

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento para mi apreciado tutor, Randon Stalin Ortiz Calle, a quien admiro por sus conocimientos y su don de gente. Durante este trabajo ha ratificado ser una persona paciente, de gran conocimiento y amistad; con estos dones él supo dirigir profesionalmente la presente investigación, además de aportar sustancialmente a mi crecimiento profesional. Espero seguir aprendiendo de él.

A mis padres, hermanas, cuñado, sobrino, a mi tía María Luisa, a mi tío Oscar, a mi querido primo y mejor amigo Oscar Daniel, por el apoyo diario y por acogerme con tanto amor cuando más lo necesité.

A la **AGENCIA ESPAÑOLA DE COOPERACIÓN INTERNACIONAL PARA EL DESARROLLO (AECID)**, por su apoyo económico para el desarrollo académico, científico, técnico e investigativo en mi formación profesional en el **I PROGRAMA EN INVESTIGACIÓN DE GESTIÓN INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS Y RIEGO** que se desarrolló en el Consejo de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE GRÁFICOS	viii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xi
ABREVIATURAS	xii
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1. Objetivo General	4
1.2. Objetivos Específicos.....	5
2. Marco Referencial	5
2.1. Sequía	5
2.1.1. Consecuencias de la sequía de tiempo extendido.....	5
2.1.2. Tipos de sequía.....	6
2.1.3. Caracterización de las sequías según su gravedad	6
2.1.4. Producción de maíz en el temporal invernal.....	7
2.1.6. Precio del maíz en la zona maicera	10
2.2. Características climáticas de la provincia de Loja.....	14
2.1.1. Régimen pluviométrico	14
2.1.2. Consideraciones para la diferenciación del clima	15
2.2. Balance Hídrico	16
2.2.1. Evapotranspiración	16
2.2.2. Formas de Expresar la evapotranspiración	16
2.2.3. Coeficiente de cultivo	17
2.2.4. Métodos indirectos para el cálculo de evapotranspiración.....	18
2.2.5. Precipitación efectiva	21
2.2.6. Cultivo de maíz	21
2.2.7. Variedad y condiciones de siembra en la zona maicera de Loja.....	22
2.2.5. Fechas de siembra actuales.....	22
2.2.6. Requerimientos agroecológicos óptimos del cultivo de maíz duro.....	23
2.3. AQUACROP	23
2.4. Almacenamiento de agua lluvia para riego	27
2.4.5. Captación de cuenca y embalse superficial para riego	28
2.4.5.1. Condiciones de adaptación	28
CAPÍTULO II.....	31

3. Materiales y métodos.....	31
3.1. Ubicación política administrativa	31
3.1.5. Zona maicera	31
3.1.6. Características orográficas de la zona maicera	32
3.1.7. Características climatológicas	32
3.2. Materiales.....	37
3.3. Métodos	37
3.3.5. Métodos para el objetivo 1.....	37
3.3.5.1. Estaciones climatológicas.....	37
3.3.5.2. Análisis de variables climatológicas.....	39
3.3.5.3. Análisis de la probabilidad de precipitaciones.....	40
3.3.5.4. Cálculo de evapotranspiración método Penman – Monteith.....	41
3.3.5.5. Escenarios de estudios climáticos.....	41
3.3.5.6. Balance hídrico de los cultivos.....	42
3.3.6. Métodos para objetivo 2.....	43
3.3.6.1. Cálculos de fechas de siembra con el software AquaCrop	43
3.3.8. Vaciado y llenado de los reservorios	45
CAPÍTULO IV	47
4. Resultados y Discusión.....	47
4.1. Climatología.....	47
4.2. Balance Hídrico con AQUACROP	55
4.1.5. Escenarios de siembra y modelamiento para productividad.....	55
4.1.7. Análisis del comportamiento del cultivo en el escenario optimista	64
4.3.3. Escenario Pesimista 8.....	66
4.1.8. Simulación del mejor escenario usando el paquete de fertilización.....	68
4.1.9. Reservorios como medida de mitigación a la sequía	69
4.1.10. Almacenamiento de agua a partir superficies impermeables.....	69
4.1.11. Relación superficie cultivada – área de captación.....	72
5. Conclusiones	77
6. Recomendaciones.....	78
7. Bibliografía	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO	PÁGINA
Gráfico 1. Distribución de la siembra de maíz duro	7
Gráfico 2. Producción en la provincia de Loja.....	8
Gráfico 3. Impacto social y económico de las sequías en la provincia de Loja: (a) Lugares secos y desolados, (b) pérdidas de ganado, (c) y (d) pérdidas de cultivos de maíz.	9
Gráfico 4. Precio del maíz Loja.....	11
Gráfico 5. Datos de sequía Célica.	11
Gráfico 6. Datos de sequía Puyango.....	12
Gráfico 7. Datos de sequía Pindal.	12
Gráfico 8. Datos de sequía Zapotillo.....	13
Gráfico 9. Datos de sequía Macará.....	13
Gráfico 10. Clasificación climática de la provincia de Loja.	15
Gráfico 11. Curva de Kc de los cultivos.....	18
Gráfico 12. Fechas comunes de siembra zona maicera (agricultores).....	23
Gráfico 13. Inputs del software AquaCrop.....	25
Gráfico 14. Información de ingreso y salida en el software Aquacrop.	25
Gráfico 15. Diagrama de flujo de AquaCrop.	26
Gráfico 16. Interfaz modelo AquaCrop -captura de pantalla software AquaCrop, 2019.	26
Gráfico 17. Conformación en el terreno de la técnica de captación de cuenca y embalse superficial.	30
Gráfico 18. Área de la Zona Maicera en la provincia de Loja.	31
Gráfico 19. Mapa base de la zona maicera de la provincia de Loja.	32
Gráfico 20. Caracterización hidrográfica.	33
Gráfico 21. Análisis de isoyetas Zona Maicera.....	34
Gráfico 22. Área de influencia de las estaciones.....	35
Gráfico 23. Siembra en el mes de enero.....	35
Gráfico 24. Siembra en el mes de febrero.	36
Gráfico 25. Siembra en el mes de marzo.....	36
Gráfico 26. Estaciones meteorológicas zona maicera.	38
Gráfico 27. Área de influencia de las estaciones.....	39
Gráfico 28. Escenario 1: Precipitación 50% y Evapotranspiración 75%.	47
Gráfico 29. Escenario 2, Precipitación 50% y Evapotranspiración 50%.	48
Gráfico 30. Escenario 3, Precipitación min y Evapotranspiración 50%.....	49
Gráfico 31. Escenario 4, Precipitación 75% y Evapotranspiración 75%.	50
Gráfico 32. Escenario 5, Precipitación 50% y Evapotranspiración 75%.	51
Gráfico 33. Escenario 6, Precipitación min y Evapotranspiración 75%.....	52
Gráfico 34. Escenario 7, Precipitación 75% y Evapotranspiración 100%.	52
Gráfico 35. Escenario 8, Precipitación 50% y Evapotranspiración 100%.	53
Gráfico 36. Escenario 9, Precipitación min y Evapotranspiración 100%.....	54
Gráfico 37. Simulación escenario 3 Célica.	65
Gráfico 38. Simulación escenario AquaCrop.....	65
Gráfico 39. Simulación escenario 3 Célica.	66
Gráfico 40. Simulación escenario AquaCrop.....	67
Gráfico 41. Simulación escenario AquaCrop.....	67
Gráfico 42. Simulación escenario AquaCrop.....	68
Gráfico 43. Simulación del mejor escenario	69
Gráfico 44. Conducción de excedentes de la Captación Techos	71
Gráfico 45. Operación del Reservorio.....	71
Gráfico 46. Captación de agua lluvia sin presencia de techos.....	72
Gráfico 47. Captación y embalse superficial.....	74
Gráfico 48. Captación Cuenca y embalse (perfil).	74

Gráfico 49. Captación de agua mediante terrazas	75
Gráfico 50. Captación de agua mediante terrazas perfil.....	75
Gráfico 51. Captación con pendientes pronunciadas.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Tabla 1. Superficie, producción y venta de maíz	8
Tabla 2. Producción de maíz duro Loja, en el año 2018	10
Tabla 3. Métodos indirectos de cálculo de ETP.	19
Tabla 4. Métodos de cálculo de ETP usados para proyectos de irrigación.	20
Tabla 5. Fases y Kc para cultivo de maíz híbrido.	22
Tabla 6. Fechas comunes de siembra zona maicera (agricultores).....	23
Tabla 7. Requerimientos agroecológicos óptimos del cultivo de maíz duro	24
Tabla 8. Detalle de las estaciones meteorológicas.	37
Tabla 9. Escenarios de estudio para la climatología del sector	41
Tabla 10. Análisis de las necesidades hídricas.	44
Tabla 11. Tabla de valores de coeficiente de escurrimiento	45
Tabla 12. Intensidad de lluvia (mm h ⁻¹) en la zona maicera.....	46
Tabla 13. Siembra última semana diciembre.....	55
Tabla 14. Ingresos última semana diciembre	56
Tabla 15. Siembra enero 1 – 10.....	56
Tabla 16. Ingresos enero 1 – 10.....	57
Tabla 17. Siembra enero 11 - 20	58
Tabla 18. Ingresos enero 11 – 20.....	59
Tabla 19. Siembra enero 21 – 31.....	59
Tabla 20. Ingresos enero 21 – 31.....	60
Tabla 21. Siembra febrero 1 – 10	60
Tabla 22. Ingresos febrero 1- 10.....	61
Tabla 23. Siembra febrero 11 -20.....	61
Tabla 24. Ingresos febrero 11 – 20.....	62
Tabla 25. Siembra febrero 21 - 28.....	63
Tabla 26. Ingresos febrero 21- 28.....	63
Tabla 27. Resultados mejores escenarios.	64
Tabla 28. Balance de reservorio	70
Tabla 29. Cálculos de Área CAP-CULT	73

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIONES	PÁGINA
Ecuación 1. Media.....	39
Ecuación 2. Desviación estándar (S).....	39
Ecuación 3. Ecuación de Probabilidad.....	40
Ecuación 4. Formula de Precipitación efectiva.....	40
Ecuación 5. Cálculo de Evapotranspiración.....	41
Ecuación 6. Muestra estadística.....	42
Ecuación 7. Evapotranspiración real.....	43
Ecuación 8. Balance hídrico.....	43
Ecuación 9. Tempo de concentración.....	45
Ecuación 10. Cálculo de b, para el tiempo de concentración.....	45
Ecuación 11. Área de captación necesaria.....	45

ABREVIATURAS

ATLM	Proyecto Unificado Acceso a Tierras de los Productores Familiares y Legalización Masiva en el Territorio Ecuatoriano
ETO/ETP	Evapotranspiración/ Evapotranspiración Potencial
FAO	Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
GPS	Sistema Global de Posicionamiento
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
MAE	Ministerio del Ambiente
MAG	Ministerio de Agricultura Ganadería
PIT	Proyecto de Irrigación Tecnificada para Pequeños y Medianos Productores y Productoras
SINAGAP	Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería

TÍTULO: Planificación y calendarización de siembra en la zona maicera de la provincia de Loja, como medida de mitigación a las sequías

Autor: Carlos Daniel Freire Serrano

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

La adaptación de la agricultura de temporal a la variación del clima es muy importante para optimizar las precipitaciones de la estación invernal. La presente investigación se realizó en la zona maicera de la provincia de Loja, ubicada en los cantones de Pindal, Céllica, Zapotillo y Puyango, los cuales crecen demográficamente, generan empleo rural y dinamizan la economía en la provincia, a través de la siembra del cultivo de maíz al temporal. El objetivo de la investigación fue generar una planificación y calendarización de la siembra del cultivo de maíz, mediante estudios del balance hídrico. Se realizó la modelación matemática del cultivo de maíz para nueve escenarios climáticos, en donde se analizaron las probabilidades de ocurrencia 75%, mínimo, media y máximo en los meteoros evapotranspiración y precipitación, siendo el escenario optimista, ETo-media y Pp-75%, y el escenario pesimista ETo-Máxima y P-Mínima. Resultados: i) la fecha de siembra óptima se determinó para la primera década del mes de enero, con una producción estimada en 7,02 t ha⁻¹ (154,4 qq ha⁻¹) y 3,47 t ha⁻¹ de materia seca o biomasa producida; ii) se determinó que sembrar en los últimos días del mes de febrero no es recomendable debido al alto riesgo de sequía y marchitamiento durante la etapa de crecimiento, floración y llenado de grano. En conclusión, la mejor fecha de siembra con las alternativas de cosecha de agua planteadas son los diez primeros días del mes de enero.

PALABRAS CLAVE: Loja / Agricultura de Temporal / Balance Hídrico / AQUACROP / Fechas de siembra.

TÍTULO: Optimal planting dates for the maize crop in the province of Loja, as a drought mitigation measure.

Autor: Carlos Daniel Freire Serrano

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

The adaptation of the rainfed agriculture to the variation of the climate is very important to optimize the precipitation of the rainy season. The present research was carried out in the maize zone of the Loja province, which covers the cantons of Pindal, Céllica, Zapotillo and Puyango, which grow demographically, generate rural employment and economically boost the province, due to the cultivation of the rainfed maize crop. The objective of the research was to generate a planning and scheduling of planting dates through an analysis of the water balance. The growth of the maize crop was modeled for nine different climatic scenarios, they were analyzed for the probability of occurrence 75%, médium, minimum and máximo of evapotranspiration and precipitation variables, being the optimistic scenario, ETo-50% and Pp-75% and the pessimistic scenario ETo-Máxima and P-Máxima. Results: i) the optimal sowing date was determined for the first decade of January, with a projected production of 7.02 t ha^{-1} (154.4 qq ha^{-1}) and 3.47 t ha^{-1} of dry matter or biomass produced; ii) the study determined that planting in the last days of February is not recommended due to the high risk of drought and wilting during the growth, flowering and grain filling stage. In conclusion, the best planting date with the proposed water harvesting alternatives is the first ten days of January.

KEY WORDS: Loja / Temporary Agriculture / Water Balance / AQUACROP / Planting dates

1. INTRODUCCIÓN

Durante el año 2019, el área productiva de Ecuador fue de 3,1 millones de hectáreas, de las cuales el área regada fue de 977 mil hectáreas (Subsecretaría de Riego y Drenaje, diciembre 2019), siendo esta la mayor superficie productiva del país de temporal o invernadero. La variabilidad climática, especialmente la precipitación, representa un aumento en el riesgo de pérdida parcial o total de los cultivos al temporal. Estudiar el balance hídrico histórico permite desarrollar una planificación de fechas de siembra que minimice el riesgo de pérdidas en cultivos al temporal.

Hidalgo Proaño (2017), en su estudio sobre la variabilidad climática inter-anual en el Ecuador, sostiene que con fenómenos naturales como *El Niño*, las precipitaciones se incrementan en la región costera, mientras que en los fenómenos de *La Niña*, las precipitaciones disminuyen en la mayor parte de la región. Para las regiones interandina y oriental, se determina que el promedio de lluvias tiende a disminuir cuando ocurren eventos cálidos (*El Niño*), aunque al existir eventos cálidos muy fuertes las lluvias aumentan. Mientras que ante la ocurrencia de fenómenos fríos (*La Niña*) se evidencia un claro aumento en el promedio de las precipitaciones.

La producción de maíz de la zona se realiza mayoritariamente por la compra de *Kits* o Funda distribuidos por la Dirección Distrital de Loja, del Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG, en donde se entrega: semilla, fertilizantes, fungicidas e insecticidas. Este kit posee 30 mil semillas que se han generalizado, y que puede producirse en una hectárea. En el caso de que se dañe el cultivo o la producción debido a la sequía u otro evento climático, los insumos no usados no pueden ser regresados, pero es posible hacer uso de la póliza de seguro agrícola.

Según Agroseguros (2018), en el período 2014 – 2018, para el área de estudio zona maicera de la provincia de Loja, Pindal, Céllica, Zapotillo y Puyango se reportaron 11.253,0 casos de aseguramiento a la producción de maíz duro, con un total de 32.115,48 hectáreas y 2.231,0 casos de afectaciones por sequía (20%) que representan 7.184,2 hectáreas afectadas. Considerando que los costos de producción por hectárea son de USD. 980, los agricultores tienen una pérdida de USD. 7'040.516,0 por costos de producción, debido a que compran el kit de maíz distribuido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

La presente investigación tiene como objetivo general planificar y calendarizar la siembra del cultivo de maíz en la zona maicera de la provincia de Loja, como medida para mitigar el efecto de las sequías en esa provincia. Las condiciones climáticas y recurrencia de sequías que caracterizan a la provincia de Loja hacen que la planificación de la siembra sea fundamental para dinamizar la gestión de la

agricultura, y así asegurar una producción óptima en términos de calidad, cantidad y oportunidad en beneficio de la población rural y urbana.

Para lograr este propósito se han observado y contrastado los resultados con un análisis de datos estadísticos históricos climáticos y de producción del territorio que inicia en los cantones de Zapotillo y termina en el cantón Célica, considerado para ello los problemas de zona que han generado una migración de tipo temporal y permanente. Para este efecto, fue necesario realizar un análisis exhaustivo de la vida diaria de los agricultores de la zona, en donde se consideraron y revisaron sus percepciones sobre la formación del clima de la zona, contrastándolos con los comportamientos climáticos ocurridos según la serie climática registrada por el INAMHI.

El presente documento se encuentra estructurado de la siguiente manera: en el primer capítulo se desarrolla un análisis climático de la zona que dará sustento a la investigación. En el segundo capítulo se realiza un análisis productivo del maíz y su relación con la fluctuación de precios en cada uno de los panoramas descritos en la metodología que explica el estudio de la precipitación y la evapotranspiración en 9 escenarios, con las ocurrencias de 50%, 75%, mínima y máxima. En el tercer capítulo se describe una alternativa productiva que permita asegurar la producción de maíz en la zona. Con los resultados de los análisis climatológicos, productivos y propuestas de producción, se realiza la síntesis, discusión y conclusiones por cada objetivo desarrollado.

Debido a la problemática antes expuesta y a las necesidades de generar propuestas para los productores de esa zona, se han planteado las siguientes preguntas de investigación:

- ¿La fecha actual de siembra de temporal del cultivo de maíz se ajusta a la distribución y la frecuencia de las precipitaciones de la zona?
- ¿La distribución y la frecuencia de las precipitaciones existentes en la zona maicera de la provincia de Loja cubren la necesidad hídrica del cultivo de maíz?
- ¿Es posible planificar la siembra de temporal del cultivo de maíz en base a las necesidades hídricas del cultivo y de la climatología de la zona, para asegurar una productividad de 150 quintales/hectárea/cosecha?
- ¿Cuál es el volumen de agua necesario para sostener y obtener eficiencia en el uso del agua para el cultivo de maíz de temporal?

1.1. Objetivo General

- Planificar y calendarizar la siembra en la zona maicera de la provincia de Loja como medida para mitigar el efecto de las sequías.

1.2. Objetivos Específicos

- Analizar las variables climáticas históricas de balance hídrico para el desarrollo de maíz de temporal en la zona maicera de la provincia de Loja, para escenarios que varían en precipitación efectiva y evapotranspiración de referencia.
- Planificar y calendarizar la fecha óptima para la siembra en la zona maicera de la provincia de Loja con diferentes escenarios climatológicos, a través de la modelación del cultivo de maíz con el software AquaCrop.
- Realizar un análisis de vaciado y llenado de reservorios de cosecha de agua lluvia para la producción del cultivo de maíz, según los requerimientos del escenario óptimo.

2. Marco Referencial

En este apartado se procede a presentar conceptos y opiniones relevantes para el estudio, analizando la sequía y sus efectos en la agricultura, las características climáticas de la provincia de Loja, las características de la producción del maíz, el balance hídrico y las alternativas de cosecha de agua.

2.1. Sequía

Este fenómeno se define como la disminución o la ausencia de precipitaciones pluviales respecto al índice anual. Es un fenómeno normal y recurrente con eventos cíclicos en todas las zonas climáticas del mundo; sin embargo, varios sectores poseen mayor intensidad y recurrencia, generalmente en las zonas áridas y semiáridas (Esparza, 2014).

Wilhite & Glantz (1985) en su artículo *Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions*, definen a una sequía como un evento natural pero errático, el cual es la consecuencia de la falta de precipitaciones durante un periodo determinado que dependerá de la zona de estudio. Este lapso puede definirse, usualmente, como una estación o más.

2.1.1. Consecuencias de la sequía de tiempo extendido

El fenómeno conocido como sequía produce un desbalance hídrico en los suelos. Esto afecta cualquier tipo de actividad de los seres humanos o de los animales, principalmente por el impacto sobre los procesos naturales del medio ambiente (Rivera del Río, Crespo, Arteaga, & Quevedo, 2007). Las consecuencias más importantes de una sequía son:

- a) Pérdidas en la producción agrícola y ganadera.
- b) Hambrunas, mal nutrición y propagación de enfermedades infecciosas.
- c) Migración.
- d) Tormentas de polvo en casos extremos.

Estas son las consecuencias más visibles, sin embargo, en términos sociales, este evento deja secuelas de descontento, conflicto, inseguridad e incluso guerras debido a la escasez de recursos (Hogan, 2010).

2.1.2. Tipos de sequía

Existen cuatro tipos de sequía: meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica. Estos grupos se encuentran establecidos y definidos (Organización Meteorológica Mundial, 2016).

- **Sequía meteorológica:** se establece en un periodo determinado en el cual existen menos lluvias de lo normal. La sequía meteorológica depende de la región en la que ocurre y sus causas son muy diferentes entre lugares, y pueden variar entre año a año. Es un fenómeno natural que no se genera debido a acciones humanas.
- **Sequía hidrológica:** este tipo de sequía es independiente de las precipitaciones. Se hace referencia a una sequía hidrológica cuando las fuentes de agua como: lagos, ríos y embalses no tienen los niveles de agua regulares para ellos. Es decir, cuando el nivel de agua en el subsuelo y la superficie de fuente acuíferas está por debajo de lo normal. Esto es un problema no sólo a nivel meteorológico sino a nivel turístico y ambiental, pues estas fuentes de agua suelen servir para hidratación de animales silvestres o para fines turísticos.
- **Sequía agrícola:** se reconoce a una época como de sequía agrícola cuando el agua de los suelos no es la suficiente o adecuada para sostener tierras de cultivo en sus niveles de humedad normales. Si bien es cierto que esto depende de la capacidad de infiltración y retención de agua en los suelos, la sequía suele darse cuando la falta de precipitaciones ocurre por un tiempo sostenido. No obstante, es cierto que los suelos que tienen baja infiltración son más susceptibles a vivir sequías agrícolas.
- **Sequía socioeconómica:** este tipo de sequía hace referencia a la oferta y demanda de bienes y servicios que dependen de los recursos hídricos para comercializarse. Por ejemplo, se habla de sequía socioeconómica cuando la demanda de agua o servicios hidroeléctricos es mayor a la oferta disponible en el mercado. La oferta de los productos que dependen del agua suele cambiar de año a año, mientras que la demanda siempre está al alza debido al crecimiento poblacional del mundo (Organización Meteorológica Mundial, 2016).

2.1.3. Caracterización de las sequías según su gravedad

Los tres puntos más relevantes para analizar durante una sequía son: la extensión geográfica, la intensidad y la duración de esta. La extensión de las áreas afectadas por las sequías suele evolucionar junto con el fenómeno. Normalmente la sequía empieza en áreas específicas y se va expandiendo a lo largo de territorios que comparten clima y topografía. En países de grandes extensiones como Brasil o Argentina, las sequías suelen no abarcar el territorio nacional entero (Valiente, 2001).

Cuando se habla de intensidad de sequía se hace referencia a la cantidad de precipitaciones, usualmente en déficit. “Se determina la gravedad de la intensidad al comparar si el nivel de lluvias se ha desviado de la media usual de precipitaciones. Este índice se conoce como *el Índice Normalizado de Precipitaciones* (SPI *Standarized Precipitaton Index*)” (Valiente, 2001, p. 67).

En lo relacionado a la duración de las sequías, estas pueden tardar en hacerse notar de dos a tres meses; no obstante, existen casos en donde su notoriedad es prácticamente inmediata. Una vez que comienza una sequía su duración puede ser de algunos meses, pero también puede tardar años en solucionarse (Valiente, 2001).

2.1.4. Producción de maíz en el temporal invernal

La producción en temporal invernal aprovecha las precipitaciones para el desarrollo del cultivo (Loyer, Estrada, Jasso, & Moreno, 1993). Es muy casual que este tipo de producción se desarrolle en las zonas agroecológicas áridas (menos de 200 mm) o semiáridas (200 mm a 800 mm), frágiles, y donde generalmente se encuentra población rural marginal (Devendra, 2016).

La producción invernal representa el 75 % de superficie cultivada (Reddy & Syme, 2015); además, este sistema de producción genera alrededor del 70 % de los alimentos básicos en el mundo; es así como 1.75 billones de hectáreas en el mundo se desarrollan según este tipo de producción (Sharma, Rao, Vittal, Ramakrishna, & Amarasinghe, 2010).

Según el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2016), la estimación de la producción de maíz duro para el primer periodo del 2016, se distribuye según el Gráfico 1 (Dagguin Aguilar, 2016):

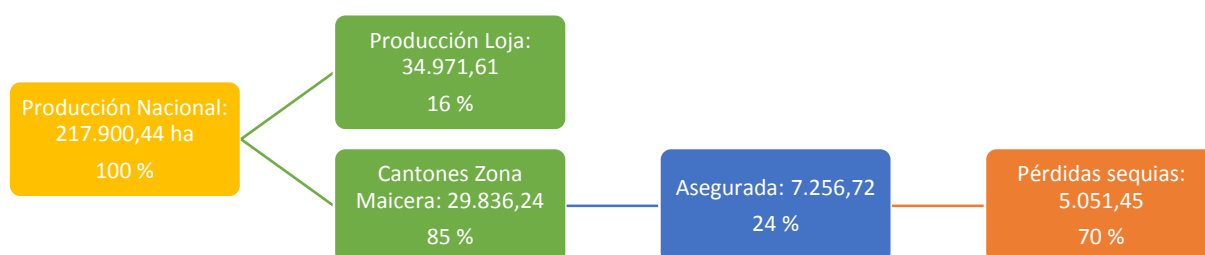


Gráfico 1. Distribución de la siembra de maíz duro

Elaboración: el autor.

2.1.5. Producción de maíz en el temporal invernal de Loja

Según información del INEC en la *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC* (2012) Loja tiene un total de 11 5358,0 ha destinadas a la producción agrícola, de la cuales 67 000,0 ha corresponden a cultivos transitorios y 48 358,0 ha a cultivos permanentes. La distribución espacial de dichas áreas de producción se puede ver en el Gráfico 2.

[illegible]

flujo migratorio hacia Guayaquil, Quito, Santo Domingo y el Oriente. Dicho movimiento interno alrededor del país está reflejado en los nombres característicos de sus asentamientos, tales como Nueva Loja ubicado al noreste del Ecuador (Ramalhosa & Minkel, 2003).

La provincia de Loja registra en su historia una sequía producida entre 1967 y 1970, que coincidió con la coyuntura de la Reforma Agraria en el país. Esta sequía provocó intensos procesos migratorios; el éxodo poblacional condujo a que los campesinos de las áreas rurales abandonen sus campos, tal como se demuestra en el Gráfico 2.

La modernización convencional de la agricultura se concentró en los pequeños valles, con un sistema de riego dirigido hacia tres cantones: Loja, Catamayo y Macará, que gracias a eso intensificaron la producción de caña de azúcar, arroz y hortalizas. El resto de los campesinos situados en zonas de secano optaron entre la migración, o la riesgosa producción estacional de café, maíz, maní, fréjol, caprinos y vacunos (Ospina *et al.*, 2011).

Los campesinos lojanos, acostumbrados a tener años malos y buenos, lo tomaron inicialmente como un problema superable, sin embargo, la sequía fue de tal magnitud que no tuvieron más remedio que dejar su tierra e ir a aventurarse a algún lado donde puedan tener la posibilidad de sobrevivir. En aquella época, los valles subtropicales de la zona suroccidental de la provincia: Paltas, Calvas, Sozoranga, Céllica, Macará y Zapotillo, quedaron prácticamente abandonados (INERHI, PREDESUR, CONADE, 1994).



Gráfico 3. Impacto social y económico de las sequías en la provincia de Loja: (a) Lugares secos y desolados, (b) pérdidas de ganado, (c) y (d) pérdidas de cultivos de maíz.

Fuente: (Castellanos, 2013).

2.1.5. Impacto social y económico

Se utilizó información del proyecto AGROSEGUROS del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) para las parroquias: 12 de diciembre, Alamor, Bolaspamba, Célica, Chaquinal, Cruzpamba, El Limo (Mariana de Jesús), Garza Real, Macará, Paletillas, Pindal, Pozul (San Juan de Pozul), Sabanilla, Mangahurco, Milagros, Tnte. Maximiliano Rodríguez, Zapotillo, totalizando 16 325,0 casos.

Según el *Sistema de Información Pública Agropecuaria SIPA*, del MAG (2018) los datos de la producción de maíz amarillo duro de temporal en Loja son los siguientes:

Tabla 2. Producción de maíz duro Loja, en el año 2018

Producto	Superficie plantada (ha)	Superficie cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)	Precio Nacional (Q)	Costos de producción (Loja, \$/ha)
Maíz Duro Seco. 13% humedad. 1% Impurezas.	35 261,0	35 261,0	250 106,0	7,09	13,77	1 005,0

Nombre: Precios Productor Ponderado

Fuente: MAG – SIPA – AGROSEGUROS, 2013 – 2019

El rendimiento del cultivo de maíz en la provincia de Loja es mayor al rendimiento nacional, cuyo promedio es de 5.62 t ha⁻¹. Del total de hectáreas sembradas en el país (262 298,0 ha), Loja representa el 13,44%.

2.1.6. Precio del maíz en la zona maicera

El maíz tiene precio de sustentación establecido por el MAG, no obstante, en la zona el precio varía debido a la oferta y demanda. Es por esta razón que los mejores precios se registran en abril, mayo y junio (Gráfico 3). Se presenta el detalle según la información con estadísticas del 2013 – 2019 (MAG, 2018). Las referencias de las fechas de siembra se podrá observar con mayor precisión en el capítulo 2, numeral 2.2.5.

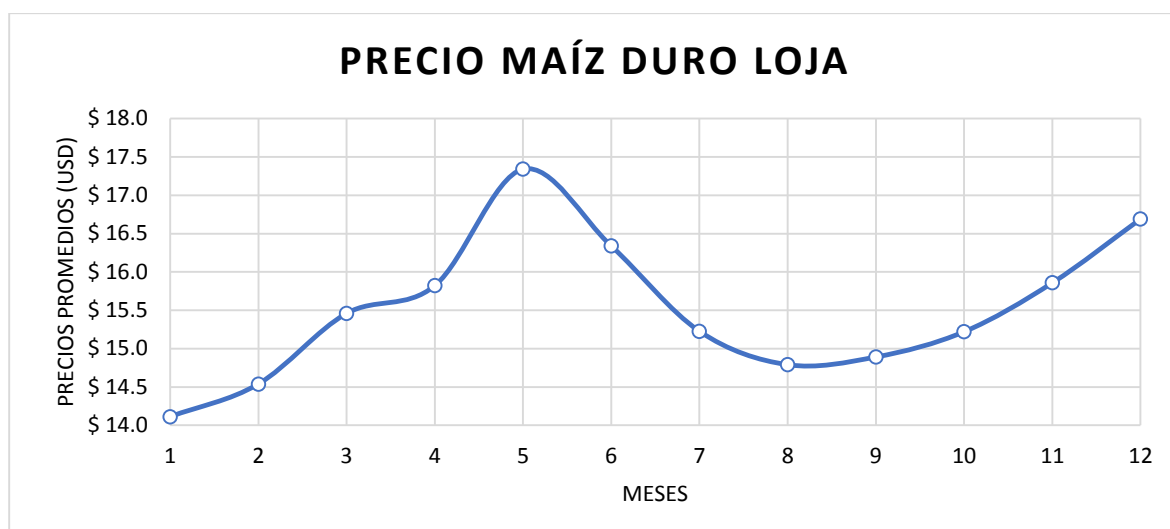


Gráfico 4. Precio del maíz Loja.
Fuente: MAG – SIPA, 2018.

Según Agroseguros (2018), desde el 2014 hasta el 2018 el promedio sembrado en la zona maicera fue de 32 115,0 ha. Esta zona ha sido afectada por sequías, reportándose 5302,0 ha de pérdidas por sequía, de las cuales 2 721,0 son pérdidas parciales y 2 581,0 pérdidas totales, lo que representa un total de USD. 5'328 510,0 solo en costos de producción, considerando que los productores realizan la compra del Kit del Maíz comercializado por el MAG y un total de USD. 10'951 281,0 millones de dólares en producción. A continuación, se presenta el detalle por cantón:

a) Datos sequía en Célica

El cantón Célica reporta pérdidas por sequía principalmente en los años 2014, 2017 y 2018. Las hectáreas perdidas son 1 807,0 ha, lo que significa perjuicios en costos de producción por USD. 1'816 035,0 e ingresos por USD. 3'732 358,5. Este cantón posee el 34% de los casos de pérdidas de producción por sequía. En el 2018 se reportaron 557 ha como pérdidas parciales y 432 ha por pérdida total.

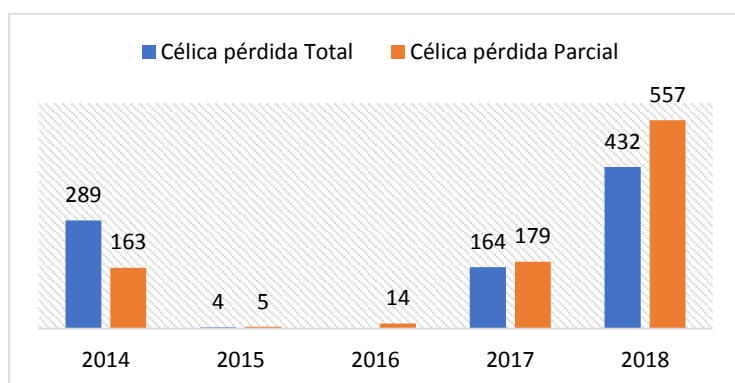


Gráfico 5. Datos de sequía Célica.
Fuente: Agroseguros 2018.

b) Datos sequías en Puyango

El cantón Puyango reporta pérdidas por sequía principalmente en los años 2014, 2017 y 2018. Las hectáreas afectadas son 352 ha, lo que representa un impacto en costos de producción por USD. 353 760,0 e ingresos por USD. 727 056,0. Este cantón posee el 7% de los casos de pérdidas de producción por sequía. En el 2018 se reportaron 214 ha como pérdidas parciales y 80 ha por pérdida total.

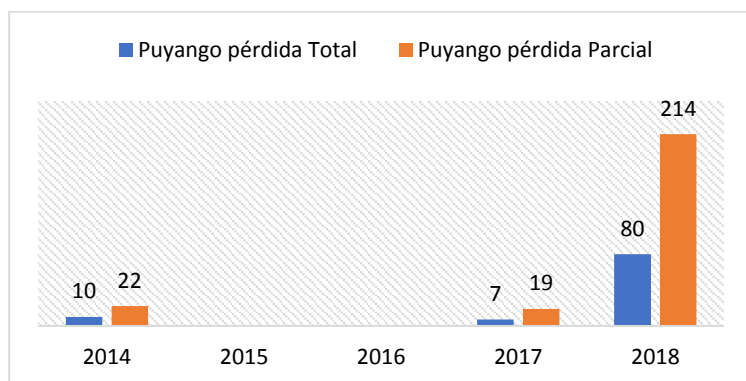


Gráfico 6. Datos de sequía Puyango

Fuente: Agroseguros 2018.

c) Datos de sequía en Pindal

El cantón Pindal reporta pérdidas por sequía principalmente en los años 2014, 2017 y 2018. Las hectáreas afectadas son 1427 ha, lo que representa una afectación en costos de producción por USD. 1'434 135,0, e ingresos por USD. 2'947 468,5. Este cantón posee el 27% de los casos de pérdidas de producción por sequía. En el 2018 se reportaron 502 ha como pérdidas parciales y 145 ha como pérdida total.

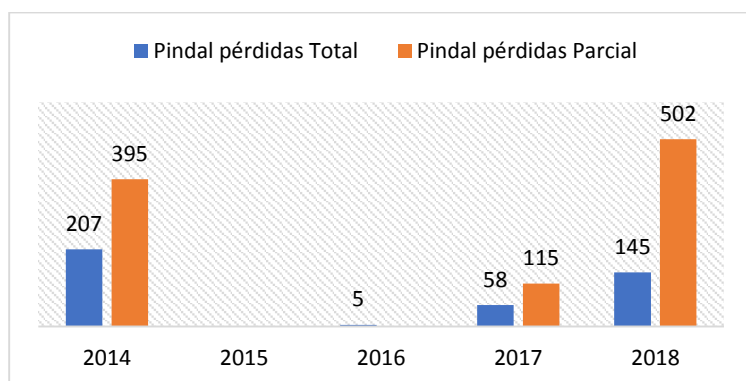


Gráfico 7. Datos de sequía Pindal.

Fuente: Agroseguros 2018.

d) Datos de sequía en Zapotillo

El cantón Zapotillo reporta pérdidas por sequía principalmente en los años 2014, 2017 y 2018. Las hectáreas afectadas son 1 443,0 ha, esto representa una pérdida en costos de producción por USD. 1´450 215,0, e ingresos por USD. 2´980 516,5. Este cantón posee el 27% de los casos de afectación de producción por sequía. En el 2018 se reportaron 102 ha como pérdidas parciales y 633 ha como pérdida total.

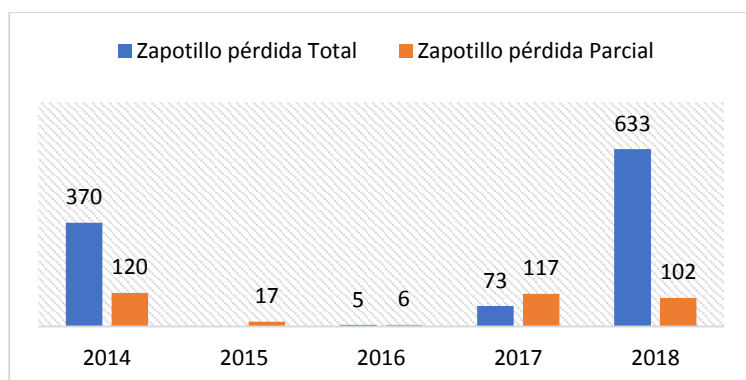


Gráfico 8. Datos de sequía Zapotillo.
Fuente: Agroseguros 2018.

e) Datos de sequía en Macará

El cantón Macará reporta pérdidas por sequía principalmente en los años 2014, y 2018, con 273 ha afectadas, lo que representa una pérdida en costos de producción por USD. 274 365,0 e ingresos por USD. 563 881,5. Este cantón posee el 5% de los casos de perjuicio de producción por sequía. En el 2018 se reportaron 160 ha como pérdidas parciales y 80 ha por pérdida total.

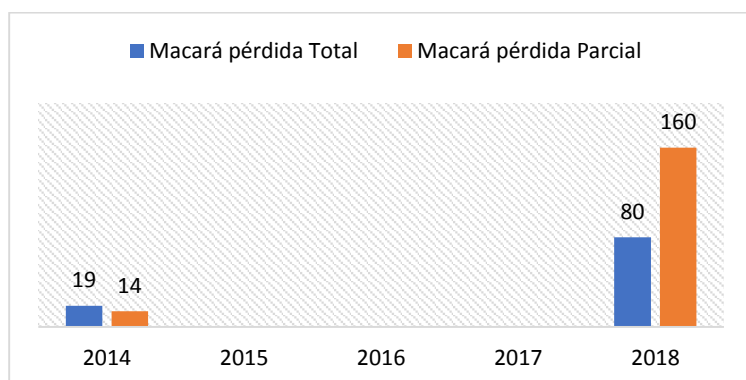


Gráfico 9. Datos de sequía Macará.
Fuente: Agroseguros 2018.

2.2. Características climáticas de la provincia de Loja

2.1.1. Régimen pluviométrico

La lluvia es entre todos los meteoros (fenómenos físicos que tienen lugar en la atmósfera por la influencia de la energía solar), el más variable en el tiempo y espacio. Se la define como todo producto de condensación o sublimación de los vapores de agua de la atmósfera, que se desprende de las nubes y llega a la superficie de la tierra. Por su variabilidad que la hace difícilmente predecible, es importante para diversos fines estudiar la distribución de la lluvia a lo largo del año calendario, para conocer el régimen pluviométrico (Maldonado Astudillo, 2005).

El aspecto más peculiar del clima de la provincia de Loja, que lo hace diferente al resto del país, está supeditado al abrupto y caótico relieve, muy diferente de las formaciones llanas o planas del resto del país, con ausencia de la Cordillera Occidental y al fenómeno de la desertificación, que avanza desde el Sur del Perú. El factor orográfico, está conformado por un relieve que desciende de Este a Oeste, con un gradiente general del 2,4% (Maldonado Astudillo, 2005).

El clima de esta provincia se conforma por la transición entre la zona montañosa de los Andes Meridionales del Ecuador y el desierto de Sechura del Perú. Por eso, el régimen de lluvias, unimodal hacia el Sector Occidental Bajo (con un solo pico en los primeros meses del año), paulatinamente tiende a homogeneizarse a medida que se asciende y avanza hacia el Oriente (Maldonado Astudillo, 2005).

Numa Pompilio Maldonado, en su libro *Escenario Natural de la Cultura de Loja* (2005), clasificó los climas pluviométricos de la provincia de Loja de la siguiente forma (Gráfico 9):

Ecuatorial Mesotérmico Seco o Árido: promedio anual < 400 mm/año. Localizados en el valle de Catamayo y en la parte más septentrional del cantón Saraguro, con una superficie aproximada de 169 km².

Tropical mesotérmico seco o Semiárido: 400 – 600 mm/año, localizado en dos sectores, en la parte más occidental y central de la provincia y los sectores occidentales y fronterizos de Macará y Zapotillo, con una superficie de 1 960 km².

Ecuatorial Mesotérmico seco húmedo o Semi-húmedo: 600 – 1000 mm/año, repartido en la mayor parte de la provincia con una superficie de 4 937 km².

Ecuatorial de alta montaña o húmedo: 1000 – 1500 mm/año, distribuido en dos sectores en la cordillera del río Pindo – Puyango y el sector oriental por la cordillera real, con una superficie de 3 961 km².

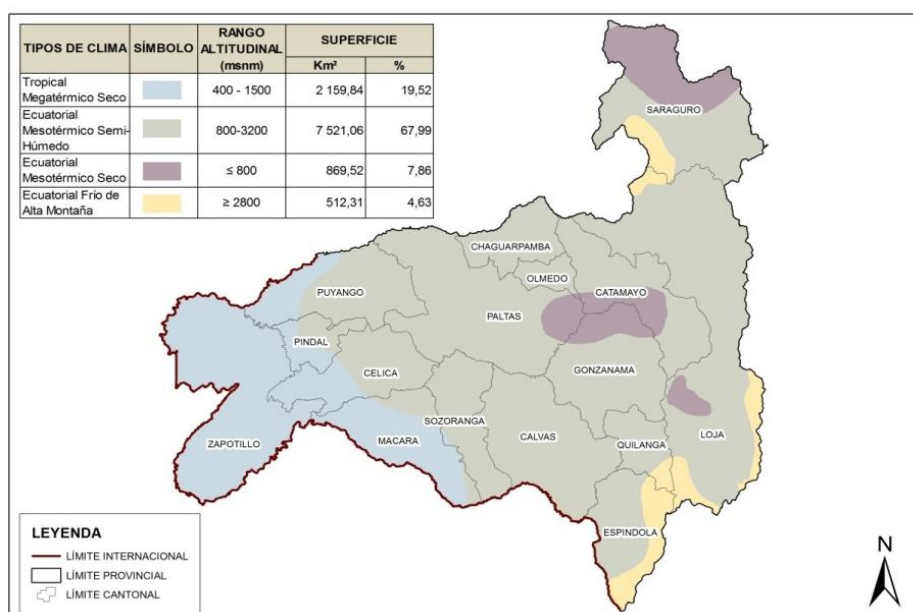


Gráfico 10. Clasificación climática de la provincia de Loja.

Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Loja, 2014-2022.

2.1.2. Consideraciones para la diferenciación del clima

El clima de la provincia de Loja está caracterizado por 3 factores: latitud geográfica, orografía y viento.

- **Latitud geográfica:** el Ecuador está ubicado en la Faja Ecuatorial de baja latitud, unida al eje de inclinación de la Tierra ($23^{\circ}30'$), y la incidencia de la energía solar presenta las siguientes características generales: a) días y noches de igual duración; b) mínima oscilación o amplitud térmica anual de la temperatura media, y c) mayor oscilación térmica diaria, superior a 15° C (Maldonado Astudillo, 2005).
- **Orografía:** el territorio de la provincia de Loja políticamente pertenece a Los Andes Bajos de la sierra ecuatoriana; sin embargo, existen zonas que están ubicadas a altitudes inferiores de lo que se consideran tierras altas, como en este caso en donde la provincia no posee elevadas montañas con nieve que provoquen deshielos. En Loja se pierde el orden de las cordilleras que se funden en forma caótica, generando cordilleras transversales y pequeños valles u hoyas de relieve muy particular. Esta situación también afecta los cauces de los ríos que se mueven en diferentes direcciones, convergiendo hacia sectores laterales de la provincia, como es el caso de los ríos Catamayo y Puyango cuya dirección es de oriente a occidente y donde es fácil notar el encañonamiento de los cauces, especialmente el del río Catamayo (Moreno, 2018; Maldonado, 2005).
- **Vientos:** considerando el análisis orográfico anterior, es evidente que la irregularidad en la topografía que genera gargantas o callejones permite el paso de aires tanto húmedos como

secos. Los aires húmedos provienen de la parte oriental de la provincia, mientras que los aires secos provienen del desierto de Sechura en el Perú. Ambos, ingresan por la garganta del río Catamayo e influyen directamente a la zona maicera (Maldonado Astudillo, 2005). Los climatólogos mencionan la presencia de cuatro masas de aire para constituir el clima de Loja, sin embargo, el mismo autor indica que “las masas regionales que inciden más en el clima de Loja son las masas marítimas más secas que penetran por la larga garganta del Catamayo y las masas húmedas desde la Amazonía.

2.2. Balance Hídrico

2.2.1. Evapotranspiración

La evapotranspiración es el proceso mediante el cual la superficie terrestre devuelve a la atmósfera el líquido que se ha precipitado, a través de agua en forma de vapor, mediante dos procesos: a) un proceso eminentemente físico, que es la evaporación directa de la humedad del suelo, de las láminas de agua o espejos de agua, etc., y b) la transpiración vegetal, que es un proceso biológico que se realiza a través de las plantas (Sánchez, 1992).

La evapotranspiración participa en el ciclo hidrológico al permitir la transferencia de agua entre la superficie terrestre y la atmósfera. Este proceso es un fenómeno complejo debido a la diversidad de factores que lo afectan; entre éstos se destacan: la vegetación de cobertura, la humedad del suelo, la transpiración vegetal y la evaporación directa del agua del suelo (Sánchez Martínez & Carvacho Bart, 2011).

Evapotranspiración, es el conjunto de pérdidas físicas (evaporación) y biológicas (transpiración de las plantas) del suelo en vapor de agua. Se expresa en mm por unidad de tiempo. Depende de factores de orden climático (radiación, humedad del aire, viento), relativos a las plantas (cobertura vegetal) y edáficos (tipo de suelo, estado de humedad del suelo), por lo que es conveniente distinguir entre evapotranspiración efectiva (cantidad de agua realmente transferida a la atmósfera) y evapotranspiración potencial (cantidad máxima, teórica, de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación y constantemente abastecido de agua). En relación con las precipitaciones recogidas, la ETP se usa mediante la fórmula de Penman – Monteith; los valores medios anuales son mayores en ambiente de Penman – Monteith (Instituto Geográfico Nacional de España, sf).

2.2.2. Formas de Expresar la evapotranspiración

La evapotranspiración de referencia (ETP o ETo) se define como la tasa de evapotranspiración de un cultivo sin restricción de agua, sin enfermedades y el suelo completamente sombreado, muy

parecida a una superficie extensa de pasto verde con altura uniforme que crece activamente (Sánchez Martínez & Carvacho Bart, 2011).

La ETP cambiará según el tipo de cultivo y su etapa fisiológica, ya que estos factores determinan el flujo del agua por los estomas. La unidad que representa a la evapotranspiración es mm d^{-1} , aunque también es frecuente expresarla en $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ y se puede transformar a dichas unidades considerando que $1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$.

Evapotranspiración Real (ETR): es la que se produce en las condiciones de campo. Se asume que la ETR es aquella que se genera en un campo de gramíneas (cultivo de referencia) de 12 cm de altura, con suficiente agua para un desarrollo óptimo y con determinadas características aerodinámicas y de albedo (Chavarri, 2004), por lo tanto, la ETR es menor o igual a la ETP. Para entender mejor este concepto se puede comparar la ETP en el desierto, que puede ser de 7 mm d^{-1} , con la ETR que será 0 mm d^{-1} puesto que no hay cultivos que evapotranspiren. La ETR será igual a la ETP cuando el suelo contenga una humedad óptima para el desarrollo de cultivos, que le permita generar un desarrollo vegetal adecuado. Esto se logra en superficies con cobertura vegetal sana y que tengan un buen sistema de riego.

La evapotranspiración potencial de un cultivo de referencia (ETo), fue definida por la FAO (1975) como “la Tasa de evaporación en mm/día de una extensa superficie de pasto (grama) verde de 8 a 15 cm de altura, en crecimiento activo, que sombrea completamente la superficie del suelo y que no sufre escasez de agua (Chavarri, 2004).

Evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar (ETc): es la evapotranspiración que se produciría en un cultivo especificado, sano, bien nutrido y en condiciones óptimas de humedad del suelo. Es igual a la ETo multiplicada por un coeficiente correspondiente al tipo de cultivo (Kc), es decir, $ETc = ETo \cdot Kc$ (Loaiza, Carvajal, & Baquero, 2015).

2.2.3. Coeficiente de cultivo

El coeficiente de cultivo (Kc) es la relación entre suelo-agua-planta y determina el requerimiento hídrico de los cultivos. El Kc está relacionado con las fases de crecimiento del cultivo y se define a través de la curva de Kc, que describe cuatro fases fenológicas: inicial, desarrollo del cultivo, mediados de temporada o intermedia, y final de temporada. El coeficiente Kc varía principalmente en el desarrollo, densidad, fechas de siembra, métodos de riego, características específicas del cultivo y el clima; por esta razón los coeficientes Kc suelen estandarizarse en regiones con climas similares. Sus valores oscilan entre 0.3 y 1.3, llegando a alcanzar su máximo valor cuando el cultivo llega a tener una cobertura aproximada del 70 % (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

El coeficiente de cultivo (K_c) desempeña un papel esencial en diversas prácticas agrícolas y ha sido ampliamente utilizado para estimar la evapotranspiración del cultivo en la programación de la irrigación (El-Shirbeny, Saleh, & Abdelraouf, 2014).

El K_c cumple la función de transformar la evapotranspiración del cultivo de referencia a evapotranspiración de cualquier cultivo en estudio, considerando la fase fenológica (Basso, Liu, & Ritchie, 2016).

Fase inicial: se considera desde la siembra hasta que el cultivo alcanza un 10% de la cobertura del suelo (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Fase de desarrollo: empieza cuando termina la etapa anterior, y va hasta el crecimiento activo de la planta (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Fase intermedia: va desde la floración hasta que el cultivo alcanza el 70-80% de cobertura máxima de cada cultivo. Y la fase final se da desde la madurez hasta la cosecha (Allen *et al.*, 2006).

Evapotranspiración de un cultivo en condiciones no estándar: es la evapotranspiración que se produciría cuando no se cumplen las condiciones ideales que se han indicado anteriormente.

Es preciso ajustar el coeficiente del cultivo (K_c) si las plantas no están bien desarrolladas o no cubren toda la superficie y para ello se multiplica el valor por el K_c , que depende de la humedad del suelo (Marini, Santamaría, Oricchio, Di Bella, & Basualdo, 2017).

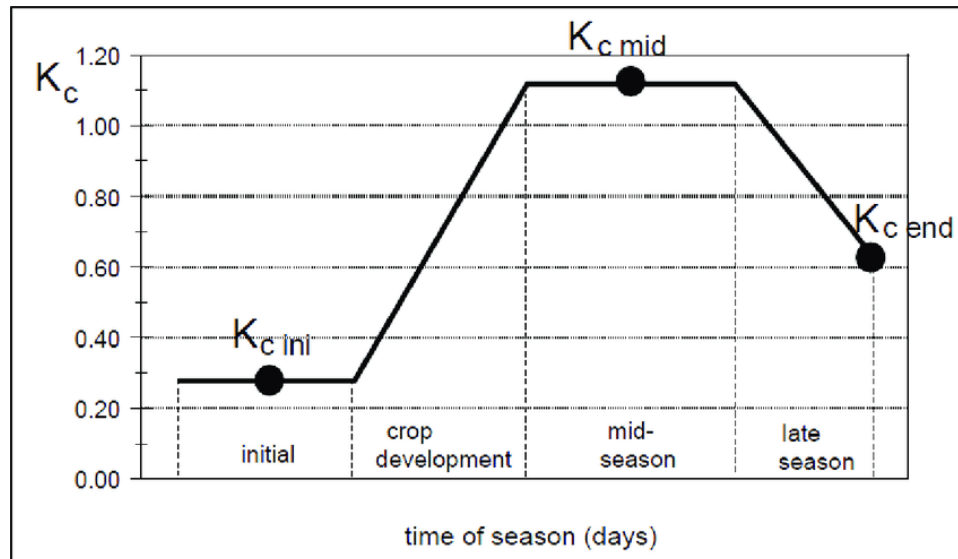


Gráfico 11. Curva de K_c de los cultivos

Fuente: (FAO, *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, 2006, p. 100).

2.2.4. Métodos indirectos para el cálculo de evapotranspiración

De acuerdo a Sánchez Martínez y Carvacho Bart en el artículo *Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo*

O'Higgins, Chile (2011), existen numerosas fórmulas que permiten estimar la ETP. Los métodos de medición indirectos son los más utilizados en los estudios geográficos y medioambientales, con una aproximación según las condiciones del lugar. No obstante, para conocer que métodos existen y donde tendrían mejor aplicabilidad, éstos se presentan en detalle en la Tabla 3.

Tabla 3. Métodos indirectos de cálculo de ETP.

Método	Parámetros climáticos	Observaciones
Thornthwaite (Almorox, 2010)	Temperatura media y radiación solar	También se puede obtener la heliofanía de una tabla según la latitud del sector.
Hargreaves (Hargreaves & Samani, 1985)	Temperaturas medias máximas y mínimas, además radiación solar	Según la literatura, este método tiene tres fórmulas basadas en radiación y temperatura.
Blanney Criddle (Chavarri, 2004)	Temperatura	Tablas de número teórico de horas de sol que depende del cultivo.
Pennan Monteith (Chavarri, 2004)	Temperatura, horas reales de sol, velocidad del viento y humedad relativa	De las horas de sol se obtiene la radiación global incidente con una fórmula.
Turc (Higgins <i>et al.</i> , 2011)	Temperatura, humedad relativa e insolación	De las horas de sol se obtiene la radiación global incidente (cal/cm^2) con una fórmula
Jensen – Haise (Higgins <i>et al.</i> , 2011)	Temperaturas máximas y mínimas horas de sol al día y radiación	Es un método que estima varios valores.
Stephens Steeart (Higgins <i>et al.</i> , 2011)	Temperatura	Este método se realizó a partir del método de Jensen-Haise.
Priestley Taylor (Higgins <i>et al.</i> , 2011)		En una superficie evaporante, si no hay limitación de agua (ejemplo, después de un riego o de la precipitación) la atmósfera se mantiene en equilibrio con la superficie.

Elaboración: el autor.

Tabla 4. Métodos de cálculo de ETP usados para proyectos de irrigación.

Nombre del estudio	Método Usado para ETP	Provincia	Región
Implementación del sistema de riego por micro-aspersión y goteo para la “Asociación Campesina 15 de diciembre” de la Parroquia Campozano, Cantón Paján, provincia de Manabí.	Jensen – Haise y Makink	Manabí	Costa
Tecnificación del riego parcelario de la comunidad de Cutahua.	Penman – Monteith	Bolívar	Sierra
Implementación del sub proyecto de riego parcelario presurizado para la Cooperativa de Producción Agropecuaria “El Marco” de la parroquia Píntag, cantón Quito, provincia de Pichincha.	Thornthwaite	Pichincha	Sierra
Implementación del sub proyecto de riego parcelario presurizado para la asociación General Plaza.	Hargreaves	Manabí	Costa
Implementación del sistema de riego por aspersión, Junta de Aguas de Riego “Palmar Grande”, cantón Bolívar, provincia de Carchi.	Penman – Monteith	Carchi	Sierra
Implementación de riego tecnificado en el sistema de riego Palo Marcado.	Penman – Monteith	El Oro	Costa
Implementación del sistema de riego por goteo en la Asociación de Productores Agropecuarios San Rafael, cantón Bolívar, provincia del Carchi.	Penman – Monteith	Carchi	Sierra
Implementación de riego parcelario tecnificado por aspersión y goteo para el sistema de riego “La Era”, ubicado en la parroquia el tambo, cantón Catamayo, provincia de Loja	Thornthwaite	Loja	Sierra
Implementación del sistema de riego por goteo y aspersión en la Asociación “Un Paso hacia el Progreso”, cantón Mira, provincia de Carchi.	Penman – Monteith	Carchi	Sierra
Implementación de sistema de riego por aspersión en el predio La Paquita, parroquia y cantón Gral. Antonio Elizalde (Bucay), provincia del Guayas.	Penman – Monteith	Guayas	Costa
Implementación de riego por aspersión en la Asociación Agropecuaria Manuel Freile Barba “La Magdalena”, cantón Ibarra, provincia de Imbabura.	Penman – Monteith	Imbabura	Sierra
Implementación de riego parcelario tecnificado por aspersión y goteo para el sistema de riego “Y de El Guineo”, parroquia Santa Rufina, cantón Chaguarpamba, provincia de Loja	Hargreaves	Loja	Sierra
Construcción de microreservorios e implementación de riego parcelario tecnificado para la asociación de producción cafetalera del sur oriente de la provincia de Loja “PROCAFEQ”, cantones Espíndola, Quilanga, Gonzanamá y Calvas, provincia de Loja.	Hargreaves, Garcia-Lopez y Papadakis	Loja	Sierra

Fuente: MAG, 2019.

Elaboración: el autor.

Los métodos empíricos para el cálculo de la ETP requieren información que resulta un poco más fácil de conseguir, como es la temperatura. De esta forma se puede estimar de manera indirecta el valor de ETP con un cierto nivel de confianza (Marini, Santamaría, Oricchio, Di Bella, & Basualdo, 2017).

Como se explicó anteriormente, el uso de estos métodos depende de la información disponible. En el Ecuador los métodos usados para diversos proyectos de riego se detallan en la Tabla 4.

La información recolectada de diversos proyectos de riego indica que el método indirecto más utilizado es Penman – Monteith, pero varía según los siguientes parámetros:

- Datos climatológicos continuos con serie de años considerable.
- Características climatológicas y orográficas similares a la zona de influencia del sub-proyecto.

2.2.5. Precipitación efectiva

El *Sistema de Información Climática para el Regadío* (SIAR) define a la precipitación efectiva como la fracción de la precipitación total utilizada para satisfacer las necesidades de agua del cultivo, quedando por tanto excluidas la infiltración profunda, la escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo (Calera, Campos, & Garrido-Rubio, noviembre 2016).

La FAO en el informe *El Estado mundial de la agricultura y la alimentación* (1978), define a la precipitación efectiva como aquella fracción de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. La precipitación efectiva depende de múltiples factores como pueden ser la intensidad de la precipitación o la aridez del clima, y también de otros como la inclinación del terreno, contenido en humedad del suelo o velocidad de infiltración (FAO, 1978).

Para el Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, CONGOPE (2016), la cantidad de agua aprovechada por las plantas sería la lluvia total menos la escorrentía superficial, menos la evaporación y menos la percolación profunda. A esta agua aprovechada por las plantas se denomina *precipitación efectiva* (Pe), que es la fracción o parte de la precipitación total que es aprovechada por las plantas. Se dice también que precipitación efectiva es la parte de la lluvia almacenada en la zona radicular y disponible al cultivo para su uso (CONGOPE, 2016). En buena medida, esta investigación se fundamenta en ese marco teórico y conceptual, que será discutido y contrastado de manera amplia a lo largo de este trabajo.

2.2.6. Cultivo de maíz

Maíz (*Zea mays* L.) es un cultivo tradicional que abarca la mayor superficie sembrada en el mundo (Midmore, 2010), y cada año el área de cultivo de este grano va en aumento. El maíz posee un promedio de rendimiento de 3.0 t ha⁻¹ en América Latina.

En el Ecuador, antes de la década de 1970 el maíz era uno de los cultivos más importantes debido a que formaba parte de la economía, cultura y tradiciones de los pueblos; de ahí que se define que el maíz es considerado esencial para la seguridad alimentaria (Baca, 2016).

La siembra del maíz en el país está relacionada con la variedad, así como con el sector de siembra; el ciclo varía entre 5 a 7 meses. Es muy común que en la sierra ecuatoriana los meses de octubre y noviembre sean óptimos para la siembra debido que su ciclo hidrológico empieza, y por ende la germinación se vuelve propicia. Asimismo, en los meses de abril y junio es cuando inicia la cosecha (INEC, 2012).

2.2.7. Variedad y condiciones de siembra en la zona maicera de Loja

La variedad de maíz mayormente sembrado en la zona maicera es Triunfo con 1 783 casos, seguido de Dekalb con 1 384 casos y Pionner con 1 237 (Agroseguros, 2018). Estas semillas poseen un proceso total de cultivo de 130 días.

Según Yanangómez & Reinoso Acaro, en su investigación realizada en Loja, *Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (Zea mays l.) en la parroquia Malacatos sector "San José"* (2018), los Kc para el desarrollo del maíz híbrido son los que se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 5. Fases y Kc para cultivo de maíz híbrido.

Fases Fenológicas	Período		Días de fase	Ciclo cultivo	ETc	ETo	Kc
	Desde	Hasta			mm/día	mm/día	
Inicial	8/3/2018	27/3/2018	20	20	2,51	4,54	0,55
Desarrollo	28/3/2018	7/5/2018	41	61	3,63	3,93	0,92
Intermedia	8/5/2018	14/6/2018	38	99	3,92	3,56	1,1
Final	15/6/2018	9/7/2018	25	124	2,72	3,27	0,83
Promedio					3,19	3,82	0,84

Fuente: Yanangómez & Reinoso Acaro, 2018

2.2.5. Fechas de siembra actuales

Actualmente los productores de la zona maicera prefieren sembrar sus cultivos durante los diez primeros días de febrero (Agroseguros, 2018), tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Fechas comunes de siembra zona maicera (agricultores).

Fechas de siembra	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Enero 1 - 10.	17	13	2	31	1	64
Enero 11 - 20.	85	217	22	219	27	570
Enero 21 - 30	151	1128	104	441	389	2213
Febrero 1 - 10.	331	1249	636	750	1290	4256
Febrero 11 - 20.	735	880	498	323	349	2785
Febrero 21 - 30	230	282	191	46	61	810

Fuente: Agroseguros, 2019.

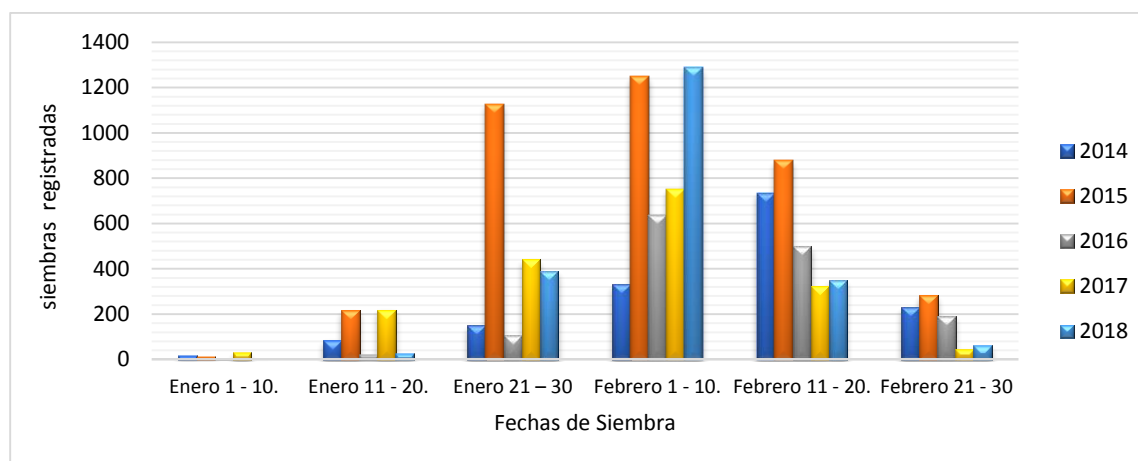


Gráfico 12. Fechas comunes de siembra zona maicera (agricultores).

Elaboración: el autor.

2.2.6. Requerimientos agroecológicos óptimos del cultivo de maíz duro

El Ministerio de Agricultura a través de su centro de investigaciones INIAP, ha establecido los requerimientos agroecológicos óptimos para el desarrollo del maíz duro (Tabla 7).

2.3. AQUACROP

El modelo AQUACROP desarrollado por la FAO (Steduto, Hsiao, Raes, & Fereres, AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles, 2009) puede usarse como una herramienta computacional para análisis de escenarios agrícolas en diferentes lugares y estaciones (Steduto, Hsiao, Raes, & Fereres, 2009). Este modelo determinista es dirigido a usuarios con conocimientos informáticos limitados, debido a que es simple, pero aun así no pierde precisión ya que utiliza un pequeño número de parámetros en comparación con otros comerciales modelos biofísicos (Steduto, Hsiao, Raes, & Fereres, 2009), y ha sido calibrado con buen ajuste y resultados experimentales en varias regiones agrícolas del mundo.

Tabla 7. Requerimientos agroecológicos óptimos del cultivo de maíz duro

PARÁMETRO	RANGO (CLASE)
PENDIENTE (%)	0 a 25%
TEXTURA	Franco, Limoso, Franco arcilloso, Franco arcillo arenoso, Franco arcillo limoso
PROFUNDIDAD (cm)	(> 50 cm) Moderadamente profundo, Profundo
PEDREGOSIDAD (%)	(< 25%) Sin, Muy pocas, Pocas
DRENAJE	Bueno, Moderado
NIVEL FREÁTICO (cm)	Profundo
pH	6,5 a 7,5 Prácticamente neutro a Neutro 5,5 a 6,5 Medianamente ácido a Ligeramente ácido
TOXICIDAD	Sin o Nula, Ligera
MATERIA ORGÁNICA (%)	(> 2%) Alto, Medio
SALINIDAD (dS/m)	(< 4 dS/m) No salino, Ligeramente salino
FERTILIDAD	Alta a Mediana
Fertilidad Alta (kg ha ⁻¹)	N=70; P=20; K=25
Fertilidad Mediana (kg ha ⁻¹)	N=35; P=15; K=20
PRECIPITACIÓN (mm anual)	500 a 2500 mm (bien distribuidos en el año)
TEMPERATURA (°C)	20 a 26 °C media anual
PERÍODO VEGETATIVO (días)	120 a 140 días
ALTITUD (m.s.n.m.)	1 a 1600

Fuente: INIAP, 2013

Elaboración: MAGAP/CGSIN/DIGDM, 2016.

2.3.1. Variables de AQUACROP

Las variables que requiere el software AQUACROP para realizar los cálculos son:

- Clima Cultivo: variables de precipitación, temperatura, evapotranspiración, kc.
- Prácticas de cultivo: asociado, con cobertura vegetal, sin cobertura vegetal.
- Gestión del riego: ciclos de riego, profundidad de riego, tipo de riego.
- Características del suelo: tipo de suelo, variables físicas y químicas.
- Agua subterránea: capa freática, análisis de porosidad.

Para mejorar la comprensión de los valores de entrada, se puede observar en Gráfico 13.

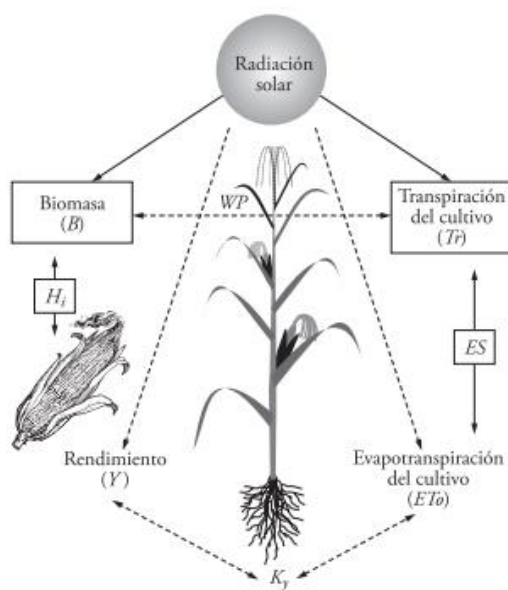


Gráfico 13. Inputs del software AquaCrop
Fuente: (Flores Gallardo, 2013).

El detalle de la información que se debe ingresar al software y la que el software desarrolla se detalla en el siguiente gráfico.

Datos de ingreso	Resultado
• Condiciones Ambientales • Precipitación • ETo • Temperatura • CO2 • Cultivo • Fecha de Siembra • Tipo de Cultivo • Kc • Suelo • Textura • Capacidad de Campo • Punto de Marchitez permanente • Fertilidad • Much • Riego • Láminas de riego • Calendario de riego	• Simulación • Crecimiento del cultivo • Desarrollo de biomasa • Desarrollo de rendimiento • Modela • Etapas de floración • Senescencia • Madurez del cultivo • Resultados • Biomasa • Rendimientos • Cobertura de follaje

Gráfico 14. Información de ingreso y salida en el software Aquacrop.
Elaborado por: el autor.

2.3.2. Procedimiento

Los procedimientos que usa AQUACROP tienen fases previas como la definición de la zona de estudio, selección de los datos que se desea analizar, la recopilación de información y el estudio agroclimático. Con dicha información se puede modelar en el software de acuerdo con el siguiente diagrama de flujo:

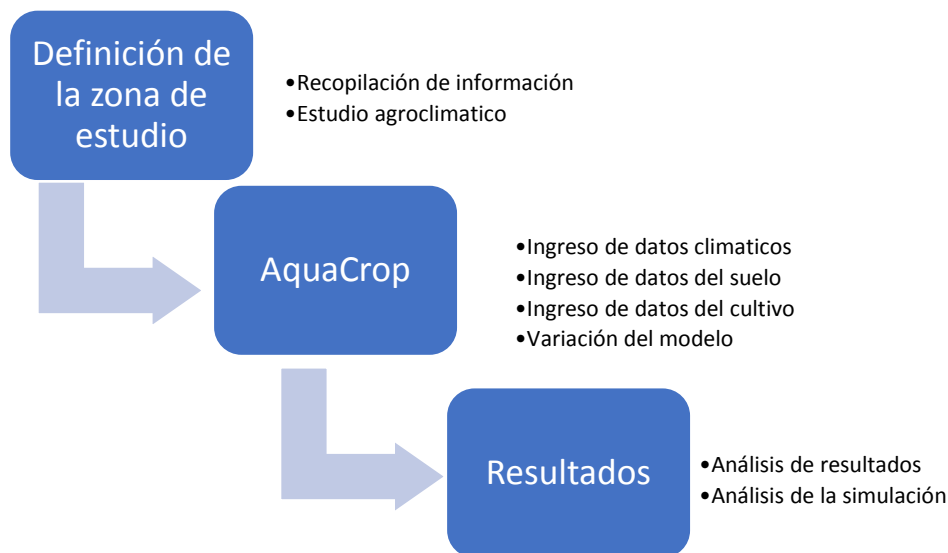


Gráfico 15. Diagrama de flujo de AquaCrop.
Elaborado por: el autor.

Para el desarrollo de estos pasos existe una interfaz que se la presenta a continuación:

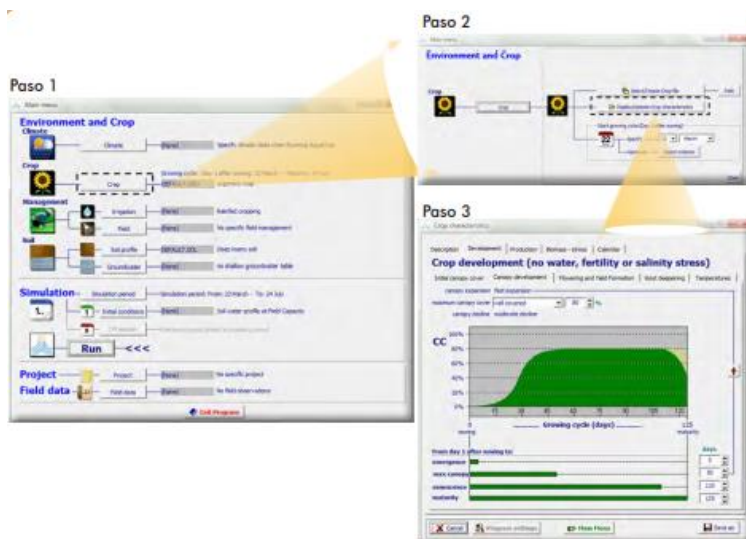


Gráfico 16. Interfaz modelo AquaCrop -captura de pantalla software AquaCrop, 2019.

2.3.3. Resultados

Al simular en el software AQUACROP se obtienen resultados que se podrían considerar como recomendaciones prácticas para aumentar la productividad del agua. El modelo estima la biomasa que se produciría y el rendimiento de los cultivos, según los datos introducidos. El modelo, además posee una herramienta muy importante que es un indicador que evalúa el desempeño del sistema de producción en relación al agua, a través de la productividad del agua o el rendimiento que se produce

por unidad de agua evapotranspirada (FAO, AquaCrop, el modelo de productividad del agua de los cultivos, 2017) (FAO, 2017).

Entre los resultados se tienen:

- Entender las respuestas de los cultivos al cambio ambiental.
- Estudiar el impacto del cambio climático en los rendimientos de los cultivos.
- Comparar los rendimientos potenciales y reales (análisis de la brecha de rendimiento).
- Identificar las restricciones a la producción de cultivos y la productividad del agua.
- Desarrollar programas de riego para optimizar la producción.
- Desarrollar estrategias en condiciones de déficit hídrico para maximizar la productividad del agua.
- Apoyar la toma de decisiones sobre las asignaciones de agua y las políticas de agua.

2.4. Almacenamiento de agua lluvia para riego

La gran parte de las técnicas de captación de agua lluvia proviene de experiencias basadas en prácticas ancestrales. Con un origen empírico que proviene de las comunidades que han tenido éxito a lo largo del tiempo, dichas prácticas se han estudiado para entender sus principios y comportamientos generales. Gracias al aporte de diferentes instituciones, en los últimos 30 años se han estudiado muchas de estas técnicas ancestrales (Hodd, 1998). Es así como gracias a ello hoy en día existe una gran variedad de técnicas adaptadas a diferentes situaciones, cada una cumple distintas finalidades, y dependiendo el caso, pueden ser usadas en territorios con déficit hídrico.

Sin lugar a duda la técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se entiende en dos instancias: la práctica o conocida como obra es aquella capaz de, individualmente o combinada con otras, aumentar la disponibilidad de agua en la finca para uso doméstico, animal o vegetal. Dichas prácticas son estructuras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia (FAO, abril de 2013).

Estas técnicas pueden ser agrupadas en grandes modalidades de captación de agua de lluvia, como las siguientes:

Micro captación: esta metodología consiste en captar la escorrentía superficial del agua de propio terreno, o de las aguas contiguas para hacerla infiltrar y ser aprovechada por los cultivos. Dichas técnicas son usadas en territorios con las siguientes características: una área con pendiente lisa, poco permeable y sin vegetación, para que genere escorrentía superficial, así como las de otra área contigua y aguas abajo, con surcos, bordes, camellones u hoyos, para captar la escorrentía y abastecer el suelo y los cultivos allí sembrados (FAO, abril de 2013).

Macro captación: esta tecnología consiste en captar la escorrentía superficial generada en áreas más grandes, ubicadas contiguas al cultivo es decir áreas cercanas a los cultivos o apartadas del área de cultivo (macro captación externa), para hacerla infiltrar en el área de cultivo y ser aprovechada por las plantas. La diferencia principalmente está es incorporar el principio hidrológico la utilización de un área productora de escorrentía superficial (pendiente más elevada, suelo delgado, área rocosa, etc.), sin o con escasa cobertura vegetal, para que genere un volumen considerable de flujo superficial hacia el área de cultivo (FAO, abril de 2013).

2.4.5. Captación de cuenca y embalse superficial para riego

Esta técnica consiste en la captación de escorrentía generada en una pequeña cuenca hidrográfica o en partes de ella, la cual es represada en embalses estratégicamente construidos aguas abajo, para utilización principalmente en riego por gravedad. En el nordeste de Brasil, donde ha sido estudiada y difundida por EMBRAPA Semiárido, es conocida como *embalse para riego de salvación*, aunque el concepto de *riego de salvación* puede incluir agua captada en otras estructuras.

El agua captada durante el periodo lluvioso sirve para irrigar los cultivos durante periodos de veranillo, los cuales son frecuentes en regiones semiáridas, así como para extender la época de disponibilidad de agua para los cultivos dentro del período seco, al final de la estación de lluvias (FAO, 2000).

En lugares donde se puede perder una buena cosecha por la ocurrencia de períodos secos y donde la estación lluviosa no va más allá de 20 semanas por año, tener agua disponible por más tiempo, aunque no sea en cantidades ideales, puede tener un gran impacto para la seguridad alimentaria.

2.4.5.1. Condiciones de adaptación

Se ha utilizado en zonas con 400 a 800 mm de precipitación anual en el semiárido brasileño. El terreno del área de captación aguas arriba debe presentar baja capacidad de infiltración de agua, de preferencia suelos delgados y rocosos, con pendiente moderada (mayor al 2%), para que el coeficiente de escorrentía sea más elevado (FAO, abril de 2013).

El área donde se construye el embalse debe poseer suelo poco permeable, de preferencia rocoso en profundidad para que el agua almacenada no se infiltre. El dique de contención del embalse es construido con el suelo del terreno mismo y este debe contener un alto porcentaje de arcilla para garantizar su impermeabilidad Se deben evitar los sitios con suelos arenosos.

Por último, el área de cultivo aguas abajo del embalse debe poseer topografía suave y suelo con buenas características para cultivos (profundos, friables, buen almacenamiento de agua).

Esta técnica consiste en la captación de escorrentía generada en una pequeña cuenca hidrográfica o en partes de ella, la cual es represada en embalses estratégicamente construidos aguas abajo, para utilización principalmente en riego por gravedad. En el nordeste de Brasil, donde ha sido estudiada y difundida por la EMBRAPA Semiárido, es conocida como *embalse para riego de salvación*, aunque el concepto de *riego de salvación* puede incluir agua captada en otras estructuras (FAO, abril de 2013).

El agua recogida que es almacenada durante el periodo lluvioso, especialmente durante el periodo de mayor intensidad sirve para irrigar los cultivos durante periodos de *veranillo*, aumentando la posibilidad de salvar la cosecha. Dichas estaciones de verano en época invernal conocida como *veranillo* son frecuentes en regiones semiáridas. Dependiendo del almacenamiento de agua, se podrá extender la época de disponibilidad de agua para los cultivos dentro del período seco, al final de la estación de lluvias (FAO, 2000).

En lugares donde se puede perder una buena cosecha debido a la ocurrencia de períodos secos, y en donde la estación lluviosa no dura más allá de 20 semanas por año, tener agua disponible por más tiempo, aunque no sea en cantidades ideales, puede tener un gran impacto para la seguridad alimentaria. Se ha utilizado en zonas con 400 a 800 mm de precipitación anual en el semiárido brasileño. El terreno del área de captación aguas arriba debe presentar baja capacidad de infiltración de agua, de preferencia suelos delgados y rocosos, con pendiente moderada (arriba del 2%), para que el coeficiente de escorrentía sea más elevado (FAO, abril de 2013).

Para conformar el reservorio se puede poseer un área de captación, una pequeña cuenca hidrográfica, una parte de ella o un área del terreno que se desea sembrar. En este caso, es necesario que en la parte que no es un límite natural del área de captación se utilicen bordos o surcos que funcionen como divisores de agua y conduzcan la escorrentía al embalse. El embalse se ubica en el punto de convergencia del drenaje natural del terreno, con dique de contención en forma de un semicírculo. Opcionalmente, el embalse puede ser dividido longitudinalmente por un dique interno, como forma de evitar un espejo de agua muy grande cuando no hay suficiente agua para llenarlo completamente. Primero, se llena y se utiliza un lado del embalse y, después, el otro. El área donde se construye el embalse debe poseer suelo poco permeable, de preferencia rocoso. La estructura completa incluye el área de captación aguas arriba, la presa en cota intermedia y el área de cultivo aguas abajo (FAO, abril de 2013), tal como indica el grafico siguiente.

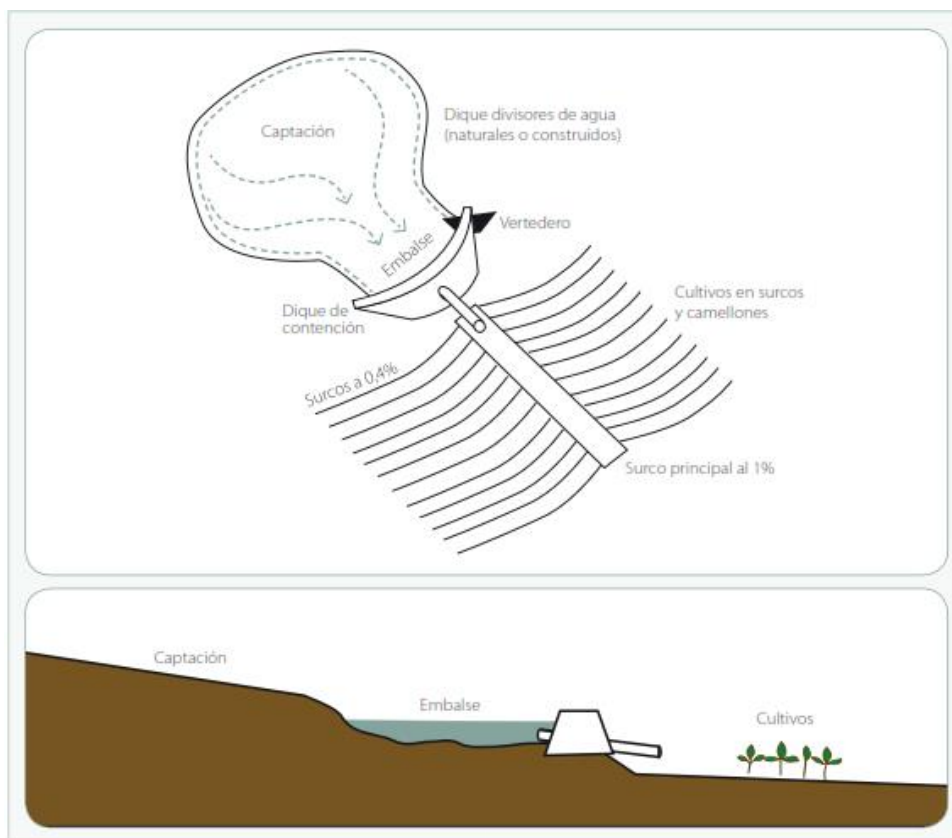


Gráfico 17. Conformación en el terreno de la técnica de captación de cuenca y embalse superficial. Tomado de (FAO, abril de 2013).

2.4.6. Captación de agua lluvia en techos o superficies

La captación de agua de lluvia proveniente de techos de viviendas, establos, galpones, invernaderos y otras construcciones que existen en una finca debe destinarse prioritariamente al consumo humano y utilización doméstica, por sus buenas características de calidad, normalmente mejor que el agua captada en otras estructuras (FAO, abril de 2013).

Los techos, por su condición impermeable, producen un volumen de escorrentía cercano al volumen de lluvia. El hecho de que estén en posición elevada e inclinada facilita la captación y almacenamiento del agua. Canaletas colocadas en la parte inferior del plano inclinado recogen la escorrentía del techo y, por una tubería, la conducen hacia la estructura de almacenamiento, generalmente estanques o cisternas, de donde el agua es retirada para su utilización.

CAPÍTULO II

3. Materiales y métodos

3.1. Ubicación política administrativa

3.1.5. Zona maicera

La presente investigación se desarrolló en la provincia de Loja, en los cantones de Zapotillo, Celica, Puyango, Pindal y Macará. Esta zona es conocida en la provincia como *La zona maicera de Loja*. La provincia de Loja está ubicada en la frontera sur del Ecuador, por lo que posee una gran cercanía en costumbres y tradiciones con la población del Perú (Gráfico 18).

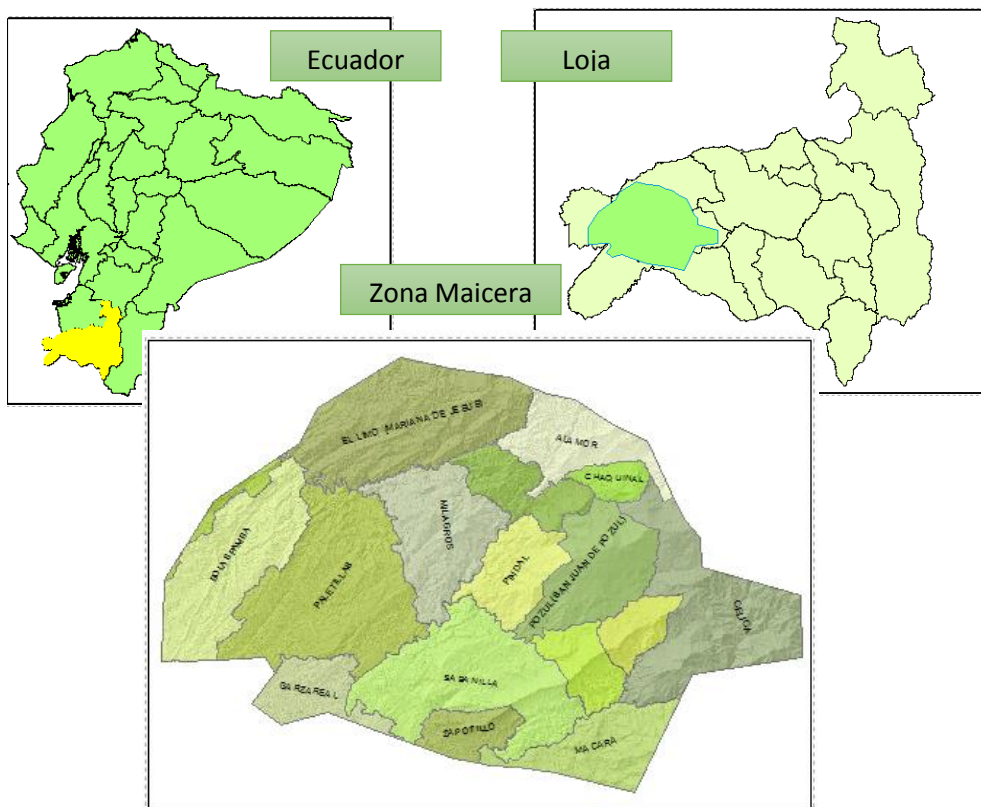


Gráfico 18. Área de la Zona Maicera en la provincia de Loja.

Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar, 2019.

Elaborado por: el autor.

Esta zona posee una superficie aproximada de 90 mil hectáreas, con una altitud que va desde 300 a 1200 msnm. La temperatura promedio varía entre 16 °C y 28 °C, la velocidad del viento promedio es de 8 km h⁻¹, la humedad promedio del 87% y la precipitación es estacional, desde diciembre a mayo con la presencia de precipitaciones máximas en el mes de abril, con 300 mm mes⁻¹ y con ausencia de precipitaciones en los meses de agosto y septiembre.

Si bien es cierto que este territorio posee una división política administrativa de sierra, las características de la zona son de costa. Hidrográficamente se encuentra en la cuenca del río Puyango y río Catamayo (Gráfico 19).

3.1.6. Características orográficas de la zona maicera

La zona maicera de la provincia de Loja se caracteriza por tener una orografía caótica, es decir sin un orden o relieve secuencial, situación que se pone en evidencia debido a que el clima de la región maicera de Loja está dividido por dos zonas muy bien marcadas, entre las cotas menores a 1000 msnm y mayores a 1000 msnm. Éstas están marcadas por las zonas cálidas de Perú, que son influenciadas por la estación Zapotillo y que se ven afectadas por la gradiente térmica, es decir, desde la cota 400 a 1000 msnm se tiene un comportamiento climático.

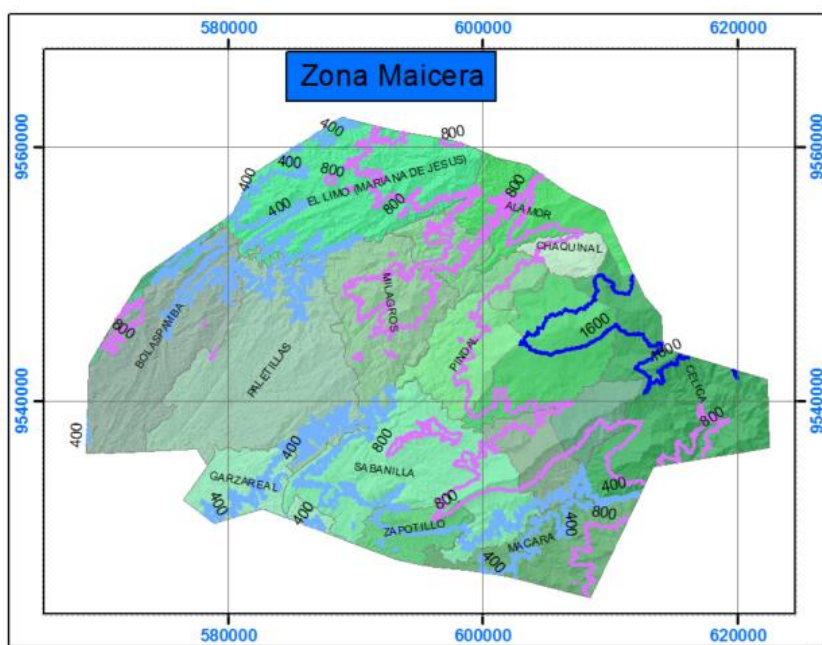


Gráfico 19. Mapa base de la zona maicera de la provincia de Loja.

Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar, 2019.

Elaborado por: el autor.

3.1.7. Características climatológicas

La zona maicera se encuentra influenciada por las cuencas hidrográficas del río Puyango - Tumbes y por el río Catamayo – Chira. Las cotas varían desde los 400 msnm hasta los 2000 msnm. Los climas que se forman poseen correlación entre ambas cuencas ya que se ven influencias por las corrientes frías de Célica y las cálidas de Perú (Prefectura de Loja, 2013).

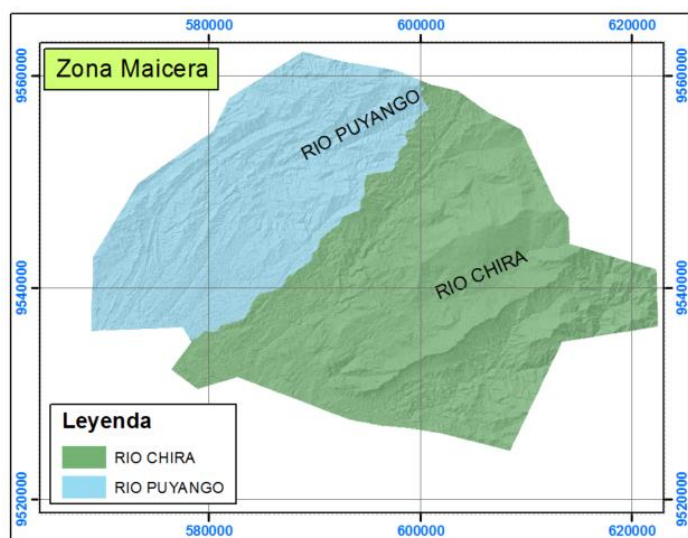


Gráfico 20. Caracterización hidrográfica.

Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar, 2019.

Elaborado por: el autor.

a) Régimen pluviométrico de los meses de siembra

Se realizó un análisis climático y orográfico que puso en evidencia que el clima de la zona maicera de Loja está dividido por dos zonas muy bien marcadas; entre las cotas menores a 1000 msnm y mayores a 1000 msnm. Estas están influenciadas por las zonas cálidas de Perú, que son influenciadas por la estación Zapotillo y que se ven afectadas por la gradiente térmica, es decir, desde la cota 400 a 1000 msnm se tiene un comportamiento climático parecido.

Tras realizar el análisis de isoyetas mensuales se puede evidenciar que el régimen pluviométrico de la zona es variable entre los meses de diciembre a mayo con uniformidad entre las dos cuencas hidrográficas y distribuciones con influencia de la zona alta (Célica y Alamor) y la zona baja (Zapotillo), la mayor intensidad de precipitación son los meses de marzo y febrero.

Para realizar el cálculo de las isoyetas se optó por el método de *Kriging*, en virtud que es el más adecuado para ello (Cisneros Iturbe, Bouvier, & Domínguez Mora, 2001; Becerra-Soariano & Gutierrez-López, 2006). *Kriging* es un método de interpolación, lo que implica que se utiliza para medir y predecir valores que no existen mediante los valores a los que si se tiene acceso o que sí existen.

La ventaja de *Kriging* sobre otros métodos es que no sólo indica la existencia o inexistencia de un valor, sino la probabilidad de que exista (Cisneros Iturbe, Bouvier, & Domínguez Mora, 2001). El supuesto básico del método es que los datos de las poblaciones se correlacionan en el espacio.

Estadísticamente, los indicadores obtenidos a través del método de Kriging son MELI¹, lo que quiere decir que son confiables como predictores (Becerra-Soariano & Gutierrez-López, 2006).

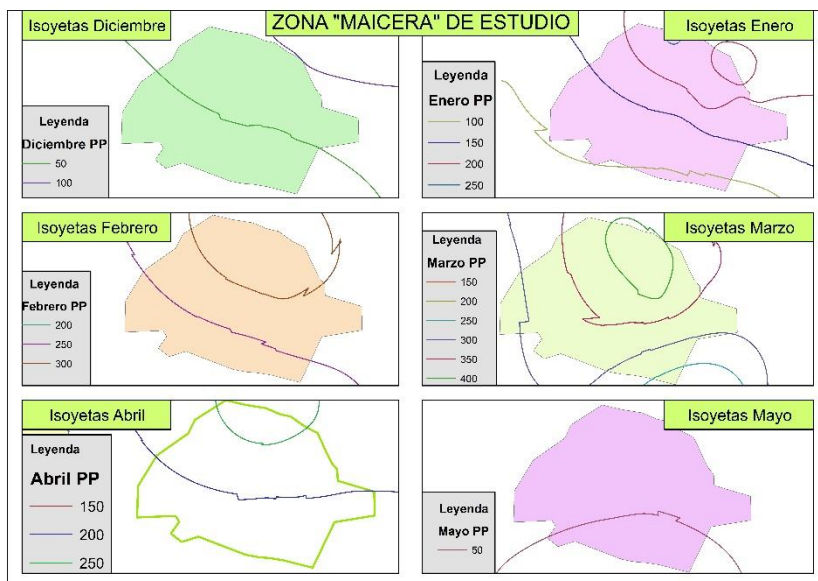


Gráfico 21. Análisis de isoyetas Zona Maicera

Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar, 2019.

Elaborado por: el autor.

Las precipitaciones poseen similitud con las fechas de siembras de los productores de maíz en Loja. En enero se notan siembras dispersar entre la isoyeta de 100 a 200 mm, en febrero existe el mayor número de siembras registradas entre las isoyetas de 200 mm a 300 mm, mientras tanto que las siembras disminuyen notablemente y se puntualizan en las isóneas de 200 a 250 mm. Lo que nos hace interpretar que las lluvias continuas con grado de intensidad entre 200 a 300 mm son los seleccionados para realizar las siembras.

En este sentido, se selecciona las zonas de influencia de cada estación y su superficie, de influencia, obteniendo lo siguiente: en la estación Zapotillo el grado de influencia es de 17 365,75 ha. La estación Céllica tiene influencia en la parte alta de la zona maicera, la misma que posee 46 541,85. Y finalmente la estación con mayor influencia en la zona maicera ya que se encuentra entre las 400 a 600 msnm, con un área de 60 521,01 es la estación Pozul. Tal como se muestra en el Gráfico 22.

¹ MELI: Mejores Indicadores Lineales Inesgados.

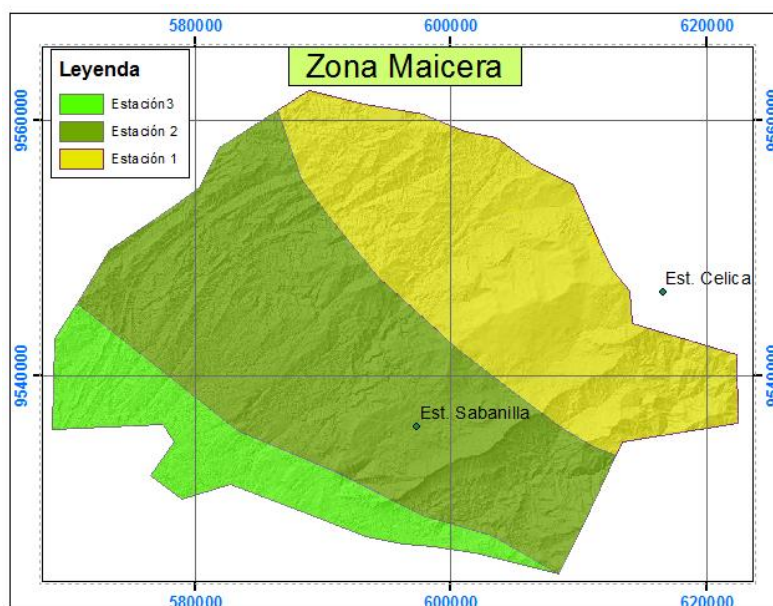


Gráfico 22. Área de influencia de las estaciones.
Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar, 2019.
 Elaborado por: el autor.

Es importante destacar que a pesar de que están en cuencas hidrográficas diferentes las fechas de siembra en los sectores no se ven marcadas por las cuencas hidrográficas, además todas ellas poseen distribuciones con similares características. A continuación, se presenta la siembra por cada mes:

b) Siembra en el mes de enero

En este mes se priorizan las siembras en la zona media, siendo mayores en las parroquias de Sabanilla y Paletillas. El área sembrada en enero en la zona maicera es 8 037,39 ha, periodo 2014 – 2018.

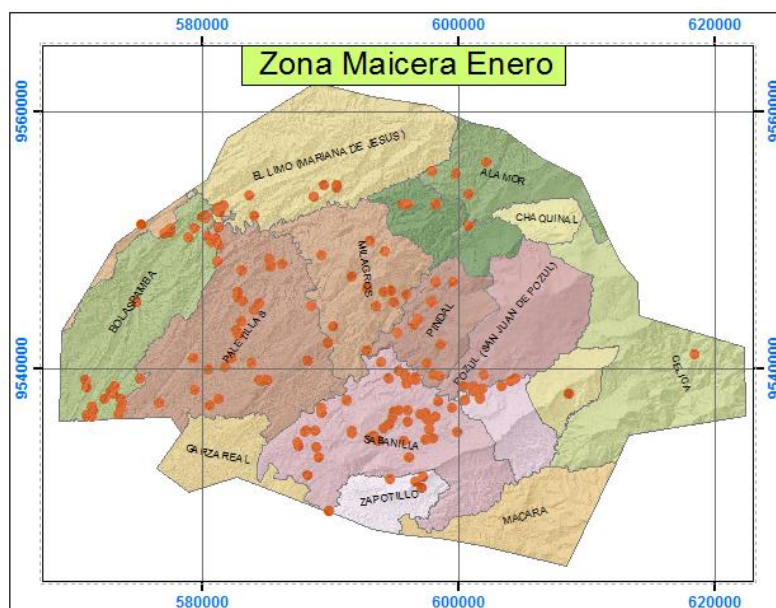


Gráfico 23. Siembra en el mes de enero.
Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar – Agroseguros, 2019.
 Elaborado por: el autor.

c) Siembra en el mes de febrero

Durante este mes existe la mayor cantidad de siembra, distribuida en todo el territorio del estudio. El área sembrada en febrero en la zona maicera es de 2 2620,09 ha, periodo 2014 – 2018.

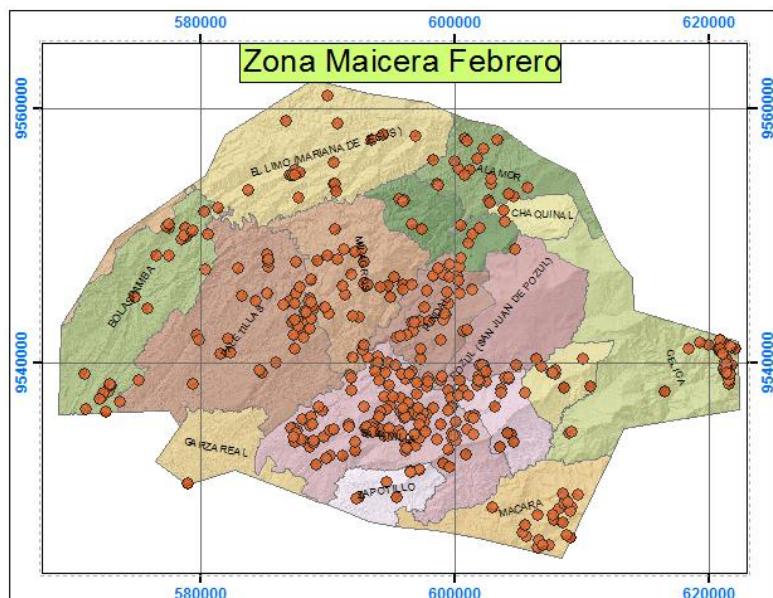


Gráfico 24. Siembra en el mes de febrero.

Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar – Agroseguros, 2019.

Elaborado por: el autor.

d) Siembra en el mes de marzo

Finalmente, en el mes de marzo las siembras son menores y nuevamente continúan en las zonas de Sabanilla y Paletillas. En marzo en la zona maicera se siembra 1 274,5 ha, periodo 2014 – 2018.

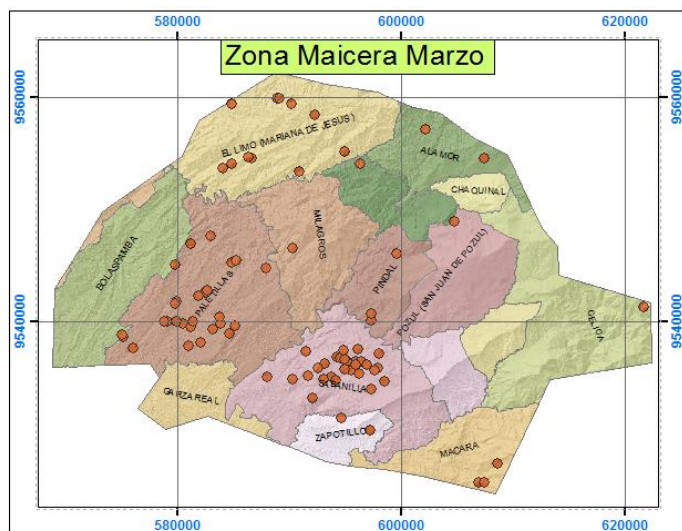


Gráfico 25. Siembra en el mes de marzo

Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar – Agroseguros, 2019.

Elaborado por: el autor.

3.2. Materiales

- Serie histórica diaria del INAMHI (1960 – 2014, 54 años) de los siguientes meteoros: humedad relativa, temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media, velocidad del viento y precipitación de las estaciones meteorológicas Zapotillo, Célica y Pozul (Tabla 9).
- Información técnica sobre el cultivo de maíz híbrido que se desarrolla en la zona de estudio tales como ciclo vegetativo y Kc.
- Información de fechas de siembra histórica entregada por MAG – AGROSEGURO.
- Encuestas a los productores de las parroquias: 12 de Diciembre, Alamor, Bolaspamba, Célica, Chaquinal, Cruzpamba, El Limo (Mariana de Jesús), Garzareal, Macará, Paletillas, Pindal, Pozul (San Juan de Pozul), Sabanilla, Magahurco, Milagros, Tnte. Maximiliano Rodríguez, Zapotillo, en relación a la agricultura de temporal y a la producción de maíz.

3.3. Métodos

3.3.5. Métodos para el objetivo 1

3.3.5.1. Estaciones climatológicas

Tras realizar el análisis de las zonas de siembra se procedió a conocer las estaciones meteorológicas disponibles para analizar el comportamiento climático, entre ellas las siguientes estaciones climatológicas ordinarias, pluviométricas y agro meteorológicas se destacan por ser las más importantes: Célica, Zapotillo Pozul y Sabanilla, las dos primeras climatológicas ordinarias y la última pluviométrica (Gráfico 26 y Tabla 8).

Tabla 8. Detalle de las estaciones meteorológicas.

Código	Nombre Estación	Tipo	Provincia	Cantón	Altitud	Periodo	Institución
M0148	Celica	CO	Loja	Célica	1904	1980 - 2014	INAMHI
M1213	Pozul	CO	Loja	Célica	1739	2004 - 2014	INAMHI
M0151	Zapotillo	AU, CO	Loja	Zapotillo	223	1980 - 2014	EX - PREDESUR

Elaborado por: el autor.

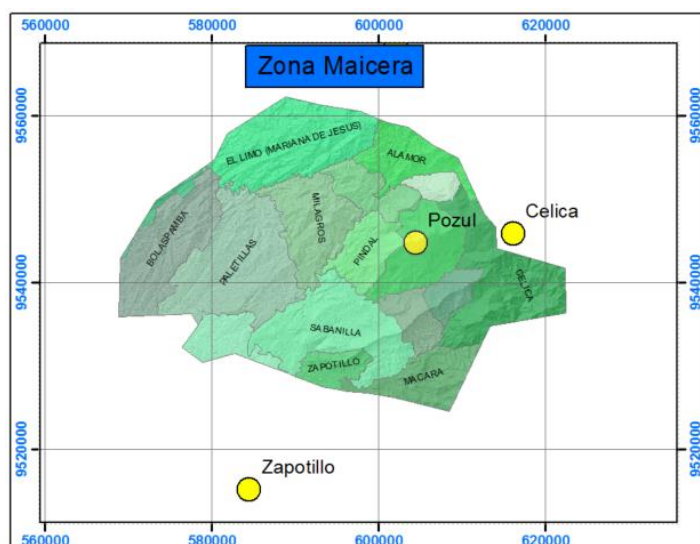


Gráfico 26. Estaciones meteorológicas zona maicera.

Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar – Agroseguros, 2019.

Elaborado por: el autor.

La estación Célica está ubicada en el Sur del Ecuador. Su longitud es 616284 m y su latitud es 9546171 m, ubicada a 2 046 metros de altura. El almacenamiento hídrico máximo de agua que puede manejar en el suelo es de 200 mm. Se percibe un clima seco durante 118 días año, subhúmedo seco durante 52 días, subhúmedo-húmedo 105 días y húmedo durante 90 días. El clima seco corresponde desde el 11 de julio hasta el 7 de noviembre; el subhúmedo – seco, del 7 de noviembre al 20 de noviembre; el subhúmedo-húmedo, del 20 de noviembre al 31 de diciembre; y el húmedo, del 1 de enero al 1 de abril (Ministerio de Agricultura y Ganadería -MAG, 2015).

La estación Zapotillo se encuentra en el Sur del Ecuador. Su longitud es 585173 m y su latitud 9524265 m y está ubicada a 227 metros de altura. El almacenamiento hídrico máximo que puede manejar es de 250 mm. Se percibe un clima seco durante 224 días año; subhúmedo - seco durante 37 días; subhúmedo-húmedo durante 73 días; y húmedo durante 31 días. El clima seco va desde el 27 de mayo hasta el 6 de enero; el subhúmedo-seco, del 6 de enero al 19 de enero, y del 3 de mayor al 27 de mayo. El subhúmedo-húmedo se ubica entre el 19 de enero al 28 de febrero, y del 1 de abril al 3 de mayo. Finalmente, el húmedo que va del 1 de marzo al 1 de abril (Ministerio de Agricultura y Ganadería -MAG, 2015).

La estación Pozul está ubicada en el Sur del Ecuador. Su longitud es 604461 y su latitud 9544731 está a 1739 metros de altura. El almacenamiento hídrico máximo que puede manejar es de 250 mm. Se percibe un clima seco durante 210 días año; subhúmedo - seco 30 durante días; subhúmedo-húmedo 30 días y húmedo durante 80 días (Ministerio de Agricultura y Ganadería -MAG, 2015).

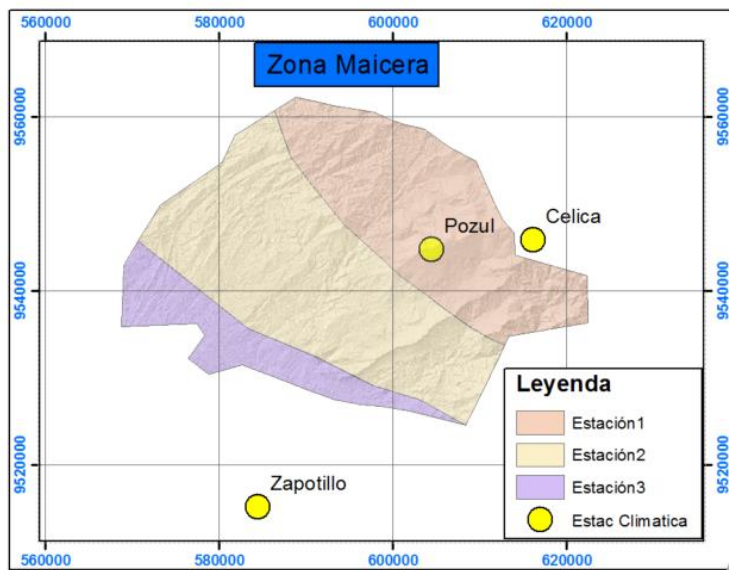


Gráfico 27. Área de influencia de las estaciones.

Fuente: Geoportal del Instituto Geográfico Militar – Agroseguros, 2019.

Elaborado por: el autor.

3.3.5.2. Análisis de variables climatológicas

Determinación de las variables: todos los parámetros climáticos fueron sometidos a un análisis de estadísticas descriptivas y a un análisis de tendencia. Para el análisis estadístico se determinó la media (X), mínima (Mín), la máxima (Máx), desviación estándar (D.E) y el coeficiente de variación (C.V.).

Ecuación 1. Media

$$\hat{X} = \frac{\sum_{i=1}^N Xi}{N}$$

Dónde:

Xi: Valores mensuales individuales de toda la serie histórica.

X: Media aritmética.

N: Número de datos.

Ecuación 2. Desviación estándar (S)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (xi - \bar{x})^2}{N}}$$

Dónde:

x_i : Valores mensuales individuales de toda la serie histórica.

X: Media aritmética.

N: Número total de datos.

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

3.3.5.3. Análisis de la probabilidad de precipitaciones

En el manual técnico producido de la FAO, *Captación y almacenamiento de agua lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe* (abril de 2013), Critchley y Siebert (1996) y Veenhuizen (2000), proponen un método sencillo para estimar la lluvia para diferentes niveles de probabilidad, el mismo que se detalla a continuación.

Ecuación 3. Ecuación de Probabilidad

$$P(\%) = \frac{m - 0.375}{N + 0.25}$$

Dónde:

P: Probabilidad (%).

M: Número de Orden (número según su orden de mayor a menos).

N: Número total de observaciones.

Al ordenar los datos de mayor a menor, se calcula la probabilidad según el número total de observaciones.

La precipitación probable, es la precipitación con una probabilidad de ocurrencia del 75%, considerando que es una variable continua, es decir, en una serie de datos de cuatro años. En tres de ellos se producirán valores mayores o iguales al estimado, de esta forma solo en un año se producirán valores menores al estimado.

Ecuación 4. Fórmula de Precipitación efectiva

Valor de P75 menor a 250 mm

$$Pe = \frac{P_{75} * (125 - 0,2 * P_{75})}{125}$$

Valor de P75 mayor a 250 mm

$$Pe = 125 + 0,1 * P_{75}$$

Dónde:

Pe: Precipitación efectiva
P75: Precipitación probable 75%

3.3.5.4. Cálculo de evapotranspiración método Penman – Monteith

Ecuación 5. Fórmula de Penman – Monteith

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

Dónde:

ET_o: Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹).
R_n: Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹).
G: Flujo del calor del suelo (MJ m⁻² día⁻¹).
T: Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C).
u₂: Velocidad del viento a 2 m de altura (°C).
e_s: Presión de vapor de saturación (kPa).
e_a: Presión real de vapor (kPa).
e_s-e_a: Déficit de presión de vapor (kPa).
Δ: Pendiente de la curva de presión de vapor (kpa °C⁻¹).
γ: Constante psicrométrica (kpa °C⁻¹).

3.3.5.5. Escenarios de estudios climáticos

Los productores manejan proyecciones de siembra en periodos de 10 días. Para guardar consistencia en el análisis y asegurar que los resultados sean de fácil interpretación y aplicación se utilizó el mismo periodo (10 días) para agregar los datos de evapotranspiración diaria.

Los escenarios de precipitación y evapotranspiración propuestos para las 3 estaciones se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Escenarios de estudio para la climatología del sector

Variable	Precipitación (75%)	Precipitación (50%)	Precipitación mínima
ET _o 50%	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
ET _o 75%	Escenario 4	Escenario 5	Escenario 6
ET _o Máxima	Escenario 7	Escenario 8	Escenario 9

Elaborado por: el autor.

Los escenarios planteados para ET_o Máxima simulan un evento de sequía.

Los escenarios con ET_o 50%, corresponden a condiciones medias.

El escenario de ET_o 75%, corresponde a un año húmedo.

Fecha de siembra de maíz en zona maicera de Loja

Una vez obtenidos los balances hídricos generales, se realizó un análisis de campo con los agricultores. Allí se consultó cuáles son las fechas más comunes para realizar la siembra de maíz y cuáles son las variables que se toman en cuenta antes de sembrar.

La zona maicera de Loja incluye a 18 mil productores para un total de 90 mil hectáreas y un tamaño promedio de parcela de 5 ha. Para el cálculo de la muestra se consideró un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 10%, suponiendo que los productores poseen condiciones homogéneas, situación propuesta en la defensa del proyecto de investigación.

Ecuación 6. Muestra estadística

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

Dónde:

- N: Población.
- Z: Nivel de confianza.
- p: Probabilidad en contra.
- d: Precisión.
- q: Probabilidad en contra.

Se realizó la encuesta a 96 productores, la cual se encuentra detallada en el Anexo 2. Adicionalmente, se organizaron 5 grupos focales (uno por cantón). La metodología y preguntas de estos grupos se detallan en el Anexo 3. Además, según la información del *Seguro Agrícola* del MAG, para priorizar el análisis en estos periodos se consideraron los meses más comunes de siembra y los que mayores rendimientos han generado.

3.3.5.6. Balance hídrico de los cultivos

3.3.5.6.1. Coeficiente de cultivo Kc

Los valores del coeficiente de cultivo utilizados para modelación del balance hídrico proceden de una investigación de rendimientos de maíz híbrido en Loja (Yanangómez & Reinoso Acaro, 2018), en dicha investigación realizada en Loja, se determinan las etapas de duración por cada ciclo vegetativo y los valores de Kc detalladas en el Gráfico 11.

3.3.5.7. Evapotranspiración real

Ecuación 7. Evapotranspiración real

$$ETr = Kc * ETo$$

Dónde:

ETr: Evapotranspiración real del cultivo, mm día⁻¹

Kc: Coeficiente del cultivo

ETo: Evapotranspiración de referencia, mm día⁻¹

3.3.5.8. Balance hídrico

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

Ecuación 8. Balance hídrico

$$BH = ET_r - P_e$$

Dónde:

Pe: Precipitación efectivo, mm d⁻¹

ETr: Evapotranspiración real del cultivo, mm d⁻¹

Cabe señalar que en dicho cálculo si la ETr es mayor a la Pe, el balance hídrico es negativo, lo cual indica que el cultivo no tendrá suficiente agua para su desarrollo.

3.3.6. Métodos para objetivo 2

3.3.6.1. Cálculos de fechas de siembra con el software AquaCrop

Una vez determinadas las fechas de siembras más comunes, y habiendo establecido el mínimo de cada escenario, se procedió a introducir los datos al software AquaCrop para determinar el rendimiento esperado para las diferentes fechas de siembra, integrando allí la relación suelo – agua – planta a través de los respectivos balances hídricos. El análisis de la información se realizó utilizando la metodología descrita en la Tabla 10 (Izzard, 1946).

Tabla 10. Análisis de las necesidades hídricas.

Mes de siembra	Escenario	Precipitación	ETo	Balance Hídrico	AquaCrop
Enero, Febrero, Marzo	1	75%	50%	Déficit o exceso	Rendimiento esperado
	2	50%	50%	Déficit o exceso	Rendimiento esperado
	3	Mínima	50%	Déficit o exceso	Rendimiento esperado
	4	75%	75%	Déficit o exceso	Rendimiento esperado
	5	50%	75%	Déficit o exceso	Rendimiento esperado
	6	Mínima	75%	Déficit o exceso	Rendimiento esperado
	7	75%	Máxima	Déficit o exceso	Rendimiento esperado
	8	50%	Máxima	Déficit o exceso	Rendimiento esperado
	9	Mínima	Máxima	Déficit o exceso	Rendimiento esperado

Elaborado por: el autor.

3.3.7. Metodología objetivo 3

3.3.7.1. Tiempo de concentración

Existen varias fórmulas para estimar el tiempo de concentración. La que se muestra a continuación ha sido deducida por Izzard (Izzard, 1946) para cuencas pequeñas, suponiendo escorrentía superficial laminar y lluvia de intensidad. Se usa esta fórmula debido a que el comportamiento de las precipitaciones es unimodal con un claro *pico* de intensidad, el cual debe ser aprovechado al máximo para el almacenamiento de agua en los reservorios. Esta fórmula ha sido usada por varias instituciones nacionales e internacionales para el desarrollo varios proyectos en la zona. Además, la expedición japonesa realizada en el Ecuador en el año 2015, recomienda usar para el cálculo de almacenamiento de agua en reservorios la intensidad de precipitación. Dicha fórmula es la siguiente:

Ecuación 9. Tiempo de concentración

$$T_c = \frac{526,42 * b * L^{\frac{1}{3}}}{(C_r * i)^{\frac{2}{3}}}$$

Ecuación 10. Cálculo de b, para el tiempo de concentración

$$b = \frac{0,0000276 * i + C_r}{S^{\frac{1}{3}}}$$

Dónde:

- T_c: Tiempo de concentración en minutos.
 L: Longitud de la escorrentía superficial difusa, en metros.
 C_r: Coeficiente retardado de la escorrentía.
 I: Intensidad de la lluvia en mm/hora.
 S: Declividad media de la superficie.

Los valores del coeficiente de escorrentía, tomado del *Manual de Conservación de Suelo y del Agua*, realizado por la Universidad Autónoma de Chapingo (1977), muestran los siguientes valores:

Tabla 11. Tabla de valores de coeficiente de escorrentía

Tipo de Vegetación	Pendiente (%)	Textura		
		Franco arenosa	Franco Arcillo limoso	Arcillosa
Terrenos cultivados	0 - 5	0,30	0,50	0,60
	5 - 10	0,40	0,60	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fuente: Manual de Conservación de Suelo y del Agua, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1977.

Elaborado por: el autor.

El coeficiente C_r, según el tipo de superficie tomado es: 0,46 suelo limpio sin vegetación.

3.3.8. Vaciado y llenado de los reservorios

Para calcular directamente el tamaño del área de captación (CAPT), se puede utilizar la siguiente ecuación:

Ecuación 11. Área de captación necesaria

$$CAPT = \frac{AC * (NHC - I)}{I * C_r * Ff}$$

Donde:

- CAPT: Área de captación (m²).
 NHC: Necesidad hídrica del cultivo (mm).
 AC: Área de cultivo (m²).
 I: Intensidad de lluvia mm.
 As: Área de escorrentía (m²).
 Ff: Factor de eficiencia adim.

El INAMHI (2015) estableció las curvas de intensidad para la zona maicera, tal como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Intensidad de lluvia (mm h^{-1}) en la zona maicera

Pr /Tc	5	10	15	20	30	60	120	360	1440
2	72,05	52,56	43,70	38,34	31,88	21,13	12,64	5,59	2,0
5	115,58	84,32	70,11	61,51	51,15	33,91	20,27	8,97	3,21
10	144,09	105,12	87,41	76,68	63,76	42,27	25,27	11,19	4,0
25	178,76	130,41	108,44	95,14	79,11	52,44	31,36	13,88	4,96
50	203,81	148,68	123,63	108,46	90,19	59,79	35,75	15,82	5,66
100	228,46	166,67	138,59	121,59	101,10	67,02	40,07	17,73	6,34

Fuente: INAMHI, 2015.

Pr, período de retorno (años); Tc, tiempo de concentración (Tc).

Elaborado por: el autor.

CAPÍTULO IV

4. Resultados y Discusión

En el presente apartado se presentan los resultados obtenidos en la investigación, según el objetivo que se buscó conseguir.

4.1. Climatología

Los escenarios que se analizan y explican el comportamiento de las precipitaciones para cada uno de los supuestos de las tres estaciones meteorológicas, es decir, explican el comportamiento de cada estación en cada escenario de precipitación y ETo, determinando con ello un balance hídrico para cada estación meteorológica.

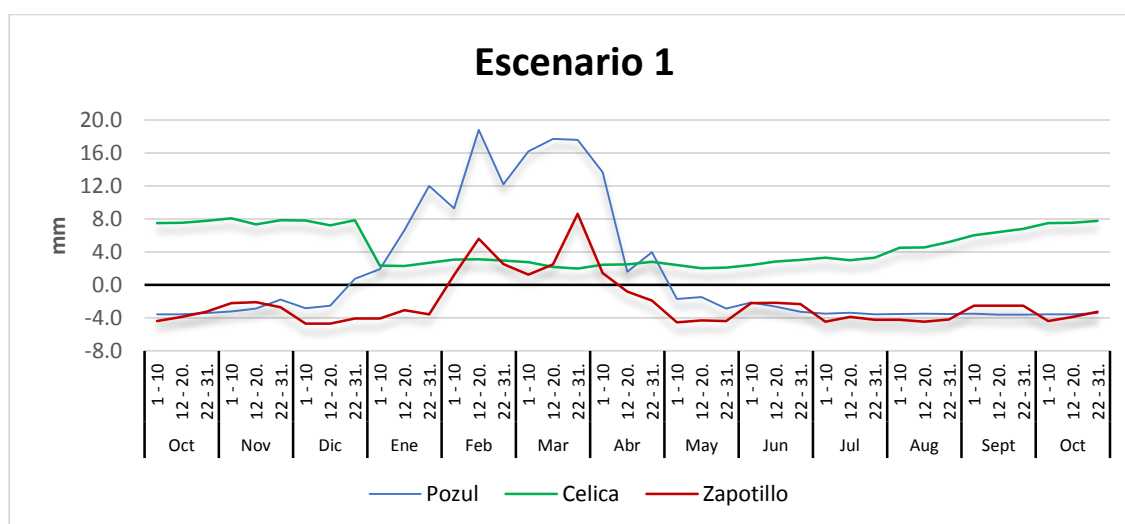


Gráfico 28. Escenario 1: Precipitación 50% y Evapotranspiración 75%.
Elaborado por: el autor.

Según el análisis estadístico realizado, el balance hídrico positivo es similar para las tres estaciones (enero – mayo) siendo el pico máximo en marzo. Sin embargo, la estación Célica posee un comportamiento en el régimen pluviométrico diferente, las precipitaciones inician en el mes de octubre y su mayor intensidad se registra en diciembre, debido al comportamiento e influencia de su clima. Es importante notar que la estación Célica al 50% de probabilidad posee un balance hídrico positivo todo el año, mientras que las estaciones Pozul y Zapotillo se muestra un déficit hídrico marcado y ausencia de lluvias permanente. En este escenario es indispensable la construcción de reservorios para la producción anual en la zona.

El escenario 1 supone una probabilidad de precipitación y evapotranspiración del 50 y 75% respectivamente, en este escenario la precipitación es promedio.

Los datos de este análisis estadístico muestran que los balances hídricos de las estaciones meteorológicas son los siguientes: Pozul posee una máxima de 22,5 mm, seguida de Zapotillo con 12,9 mm y finalmente Célica con 11,9 mm. Sin embargo, en la precipitación promedio, el más bajo es Zapotillo con 1.4 mm, lo que indica que Zapotillo presenta precipitaciones de gran intensidad en pocos meses y escasez de lluvia en la mayor cantidad de meses. En la sumatoria de precipitación, la que obtuvo un mayor resultado fue Célica, con 299,7 mm, lo que significa que la distribución de precipitación se da durante todo el año sin meses de gran intensidad de lluvia. Luego, la distribución de lluvia se puntualiza en meses dando que Pozul tenga 189,9 mm, y finalmente se encuentra Zapotillo con 50,4 mm.

Mientras tanto, la evapotranspiración máxima se encuentra en Zapotillo, con 4,8 mm día⁻¹, seguido por Célica con 4,1 mm día⁻¹, y finalmente Pozul con 3,8 mm día⁻¹. Los decadales mensuales con balance hídrico positivo son mayores en Célica, con 36, es decir 360 días de balance positivo, seguido de Pozul con 13 décadas de balance hídrico positivo (130 días), y finalmente Zapotillo con 7 décadas positivas (70 días).

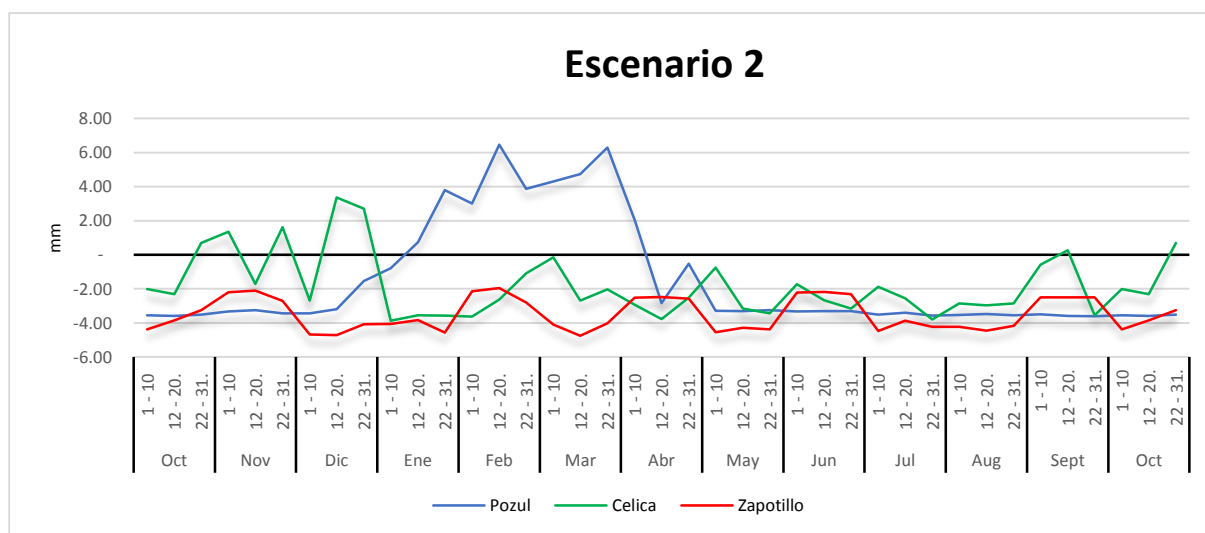


Gráfico 29. Escenario 2, Precipitación 50% y Evapotranspiración 50%.
Elaborado por: el autor.

Según el análisis estadístico realizado, el balance hídrico positivo es similar para las tres estaciones (enero – abril) siendo el pico máximo en marzo. La estación Célica posee un comportamiento en el régimen pluviométrico diferente, ya que las precipitaciones inician en el mes de octubre y su mayor intensidad se registra en diciembre, ello debido al comportamiento e influencia de su clima.

Sin embargo, desde abril a octubre en las 3 estaciones se muestra déficit hídrico marcado y ausencia de lluvias permanente. En este escenario es indispensable la construcción de reservorios para la producción anual.

En la estación de Pozul el balance hídrico es superior desde la segunda década de enero, mientras que Zapotillo y Célica, no poseen valores positivos de manera constante.

El escenario 2 analiza la probabilidad 50 % en evapotranspiración y precipitación de cada estación, en este escenario, la precipitación es baja. Pozul posee una máxima de 10,2 mm, seguida de Célica, con 7,2 mm, y finalmente Zapotillo, con 0,4 mm. En la precipitación promedio el más bajo es Zapotillo, con 0 mm. La sumatoria de precipitación en Célica es de 74,8 mm, Pozul con 78,0 mm, y Zapotillo con 1 mm.

La evapotranspiración máxima se encuentra en Zapotillo con 4,8 mm día⁻¹, seguido por Célica con 4.1 mm/día y finalmente Pozul con 3,8 mm día⁻¹. Los decadales mensuales con balance hídrico positivo son mayores en Pozul con 9, es decir 90 días de balance positivo, seguido por Zapotillo 7 décadas de balance hídrico positivo, es decir 70 días. Y finalmente Célica, con 6 décadas positivas, es decir 60 días.

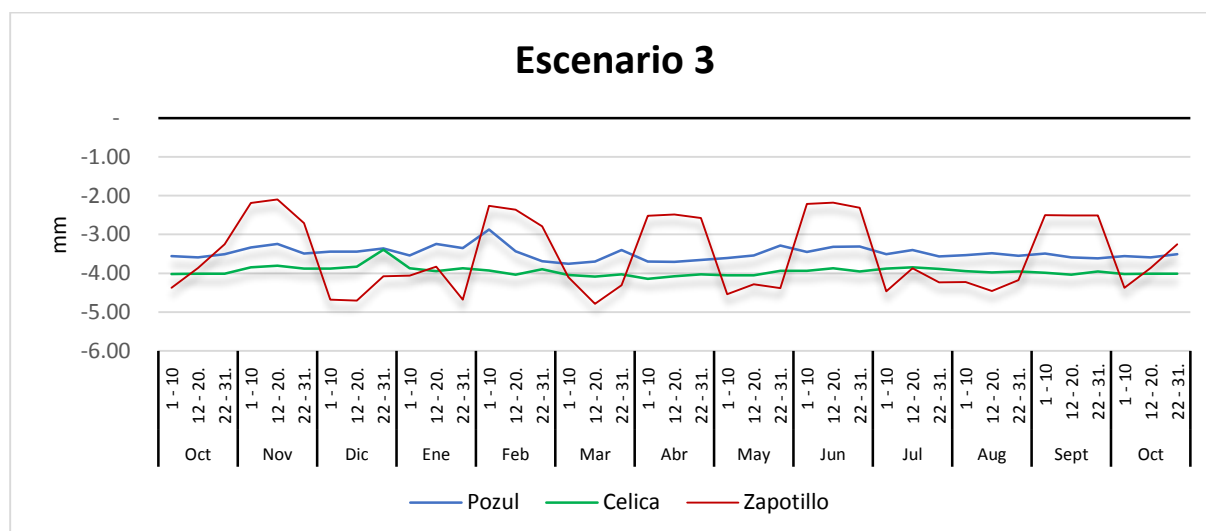


Gráfico 30. Escenario 3, Precipitación min y Evapotranspiración 50%.
Elaborado por: el autor.

Este escenario simula las sequías que sufre el sector, durante todo el año se muestra un déficit hídrico marcado. Los años de mínima precipitación son en donde no se registraron precipitaciones (0), que según los anuarios meteorológicos corresponden a los años 1964, 1968, 1974, 1980, 1988, 1995, 2000, 2007, 2012. Para la estación Zapotillo, es posible deducir que se presentan con una recurrencia de ente 4 y 8 años de frecuencia. Sin lugar a duda, los años más críticos han sido 1968, 1980 y 2012.

En la estación meteorológica Célica, según los datos meteorológicos los años son: 1968, 1970, 1978, 1980, 1985, 1986, 1987, 1995, 2003, 2013. De igual manera, los más críticos han sido 1968, 1980 y 2013.

Mientras que en la estación Pozul existe un bajo nivel de registro de datos, pero con los existentes se puede inferir que los años más críticos fueron 2004 y 2011.

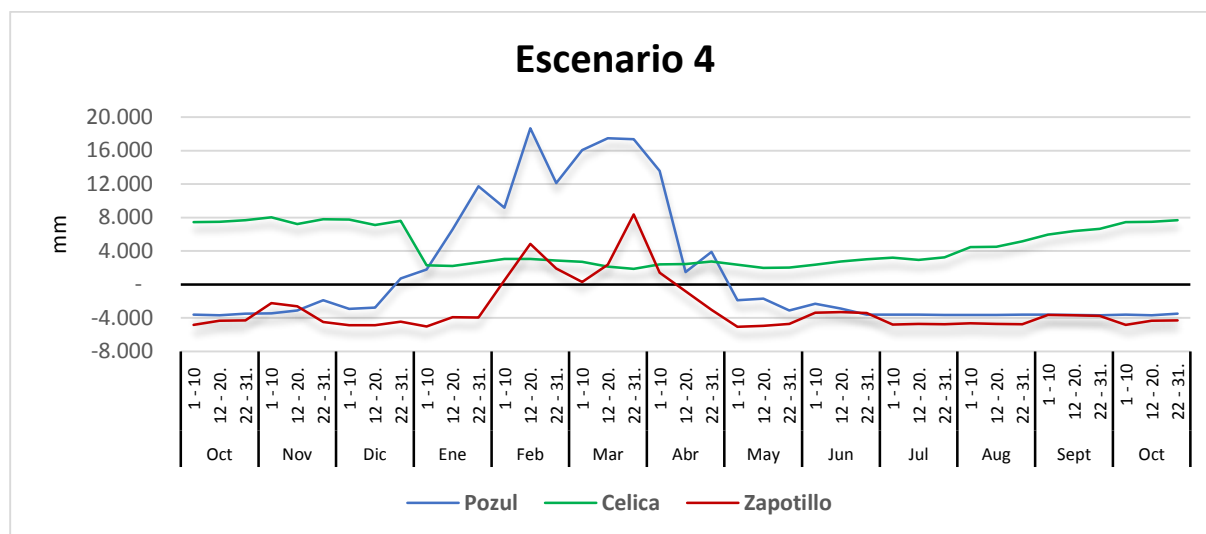


Gráfico 31. Escenario 4, Precipitación 75% y Evapotranspiración 75%.

Elaborado por: el autor.

En las estaciones de Pozul y Zapotillo, los meses de mayor balance hídrico son enero, febrero y marzo. La estación Célica posee un comportamiento en el régimen pluviométrico diferente, las precipitaciones inician en el mes de octubre y su mayor intensidad se registra en diciembre. Sin embargo, desde abril a octubre en las 3 estaciones se muestra un déficit hídrico marcado y ausencia permanente de lluvias. En este escenario es indispensable para las tres estaciones la construcción de un reservorio para la producción anual.

Este escenario muestra valores positivos desde febrero a marzo para la estación Zapotillo, evidenciado la necesidad de construcción de reservorios. En el caso de la estación Célica y Pozul el balance hídrico es superior desde la última década de diciembre, hasta inicio de mayo.

El escenario 4 analiza la probabilidad 75 % de precipitación y la probabilidad 75% de cada estación, en este escenario, la precipitación es baja. Pozul posee una máxima de 22.5 mm, seguida de Zapotillo con 12,9 mm y finalmente Célica con 11,9 mm. Sin embargo, en la precipitación promedio el más bajo es Zapotillo con 1.4 mm, esto se debe a que Zapotillo presenta precipitaciones de gran intensidad. En la sumatoria de precipitaciones, la mayor es en Célica, con 299,7 mm, seguido por Pozul con 189,9 mm, finalmente Zapotillo, con 50,4 mm.

Mientras tanto, las evapotranspiraciones máximas se encuentran en Zapotillo, con 4.8 mm día⁻¹, seguido por Célica, con 4,1 mm día⁻¹ y finalmente Pozul, con 3,8 mm día⁻¹. Los decadales mensuales con balance hídrico positivo son mayores en Célica, con 36, es decir 360 días de balance positivo; seguido de Pozul, con 13 décadas de balance hídrico positivo, lo que equivale a 130 días, y finalmente Zapotillo, con 7 décadas positivas, equivalente a 70 días.

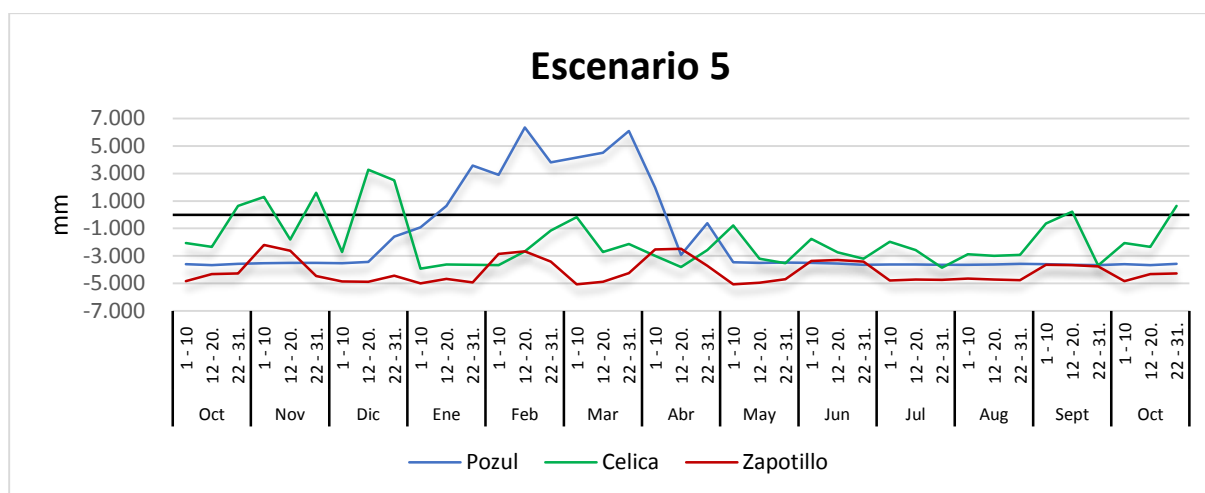


Gráfico 32. Escenario 5, Precipitación 50% y Evapotranspiración 75%.

Elaborado por: el autor.

Los meses de mayor balance hídrico para la estación de Pozul se sitúan entre mediados de enero a marzo, mientras que para la estación de Célica, es el mes de diciembre. Para la estación de Zapotillo no se posee valores de balance hídrico positivos.

Este escenario muestra la imperiosa necesidad de realizar reservorios para las estaciones de Zapotillo y Célica, por otro lado, Pozul posee balances hídricos positivos.

El escenario 5 analiza la probabilidad 50 % de precipitación y la probabilidad 75 % de cada estación, en este escenario, la precipitación es baja. Pozul posee una máxima de 22,5 mm, seguida de Zapotillo con 12,9 mm, y finalmente Célica con 11,9 mm. No obstante, en la precipitación promedio el más bajo es Zapotillo, con 1.4 mm. Esto se debe a que Zapotillo presenta precipitaciones de gran intensidad. En la sumatoria de precipitación, la mayor es en Célica con 299,7 mm, seguido por Pozul con 189,9 mm, finalmente Zapotillo, con 50,4 mm.

Mientras tanto, en las evapotranspiraciones, la máxima se encuentra en Zapotillo con 4,8 mm día⁻¹, seguido por Célica, con 4,1 mm día⁻¹, y finalmente Pozul, con 3,8 mm día⁻¹. Los decadales mensuales con balance hídrico positivo son mayores en Célica, con 36, es decir 360 días de balance positivo, seguido de Pozul, con 13 décadas de balance hídrico positivo, lo que equivale a 130 días, y finalmente Zapotillo, con 7 décadas positivas, que representan 70 días.

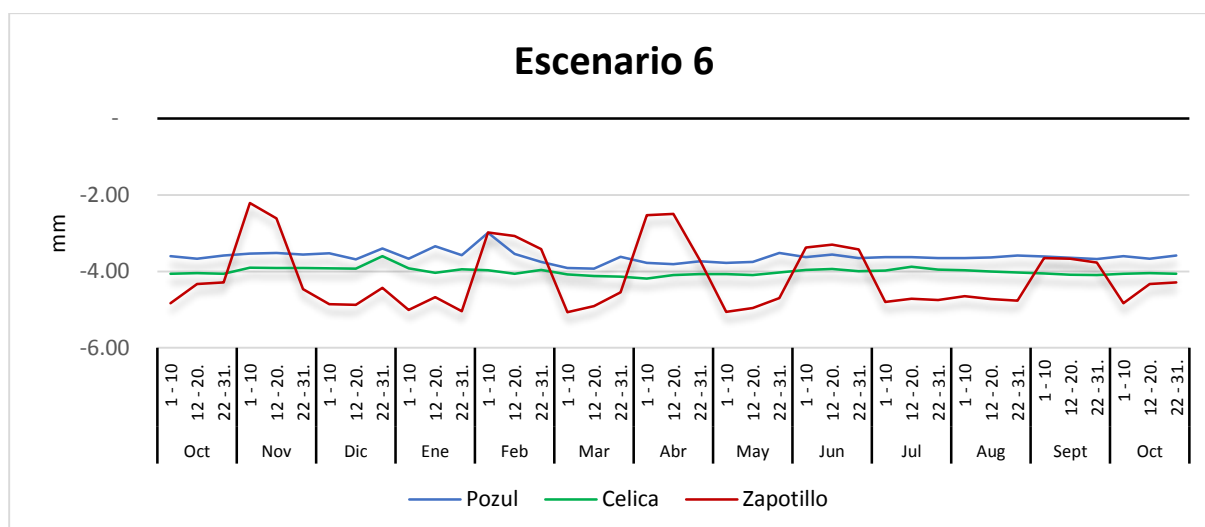


Gráfico 33. Escenario 6, Precipitación min y Evapotranspiración 75%.
Elaborado por: el autor.

Al igual que el escenario 3, el escenario 6 simula un año de sequía. Durante todos los meses el balance hídrico es negativo, dificultando la producción en la zona ya que ninguna estación presenta precipitaciones que logren superar la evapotranspiración. En este caso se registra que los territorios influenciados por la estación Zapotillo son extremadamente secos, llegando a tener balances menores a 4 mm, mientras que en Pozul y Célica varían entre 3,5 y 4 mm, respectivamente.

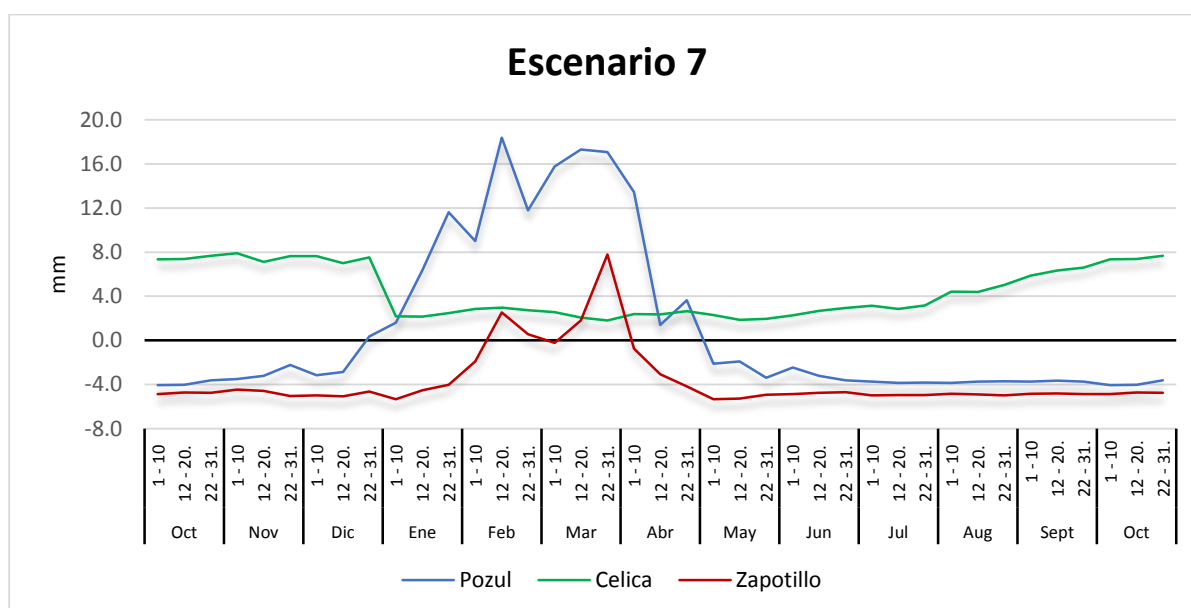


Gráfico 34. Escenario 7, Precipitación 75% y Evapotranspiración 100%.
Elaborado por: el autor.

Los meses de mayor balance hídrico para la estación de Pozul se ubican entre mediados de diciembre a marzo, mientras que para la estación de Célica todo el año es positivo, siendo mayor durante noviembre y diciembre. Por otro lado, para la estación de Zapotillo se registran valores de balance hídrico positivos entre febrero y marzo.

Este escenario muestra la imperiosa necesidad de realizar reservorios para las estaciones de Zapotillo, mientras que para Célica y Pozul se tiene balances hídricos positivos.

El escenario 7 analiza la probabilidad 75 % de precipitación y la probabilidad 100% de cada estación; en este escenario la precipitación es baja. Pozul tiene una máxima de 4,2 mm, seguida de Zapotillo con 5,6 mm, y por último Célica, con 4,2 mm. Sin embargo, en la precipitación promedio el más bajo es Zapotillo con 0 mm. En la sumatoria de precipitación, la mayor es en Pozul con 139,5 mm, seguida por Zapotillo, con 178,9 mm, y finalmente se encuentra Célica, con 147,5 mm.

Mientras tanto, en la evapotranspiración, la máxima se encuentra en Zapotillo, con 4,8 mm día⁻¹, seguido por Célica, con 4,1 mm día⁻¹, y finalmente Pozul, con 3,8 mm día⁻¹. Los decadales mensuales con balance hídrico positivo son mayores en Célica, con 36, es decir 360 días de balance positivo, seguido de Pozul con 13 décadas de balance hídrico positivo, que equivalen a 130 días, y finalmente Zapotillo con 7 décadas positivas, es decir 70 días.

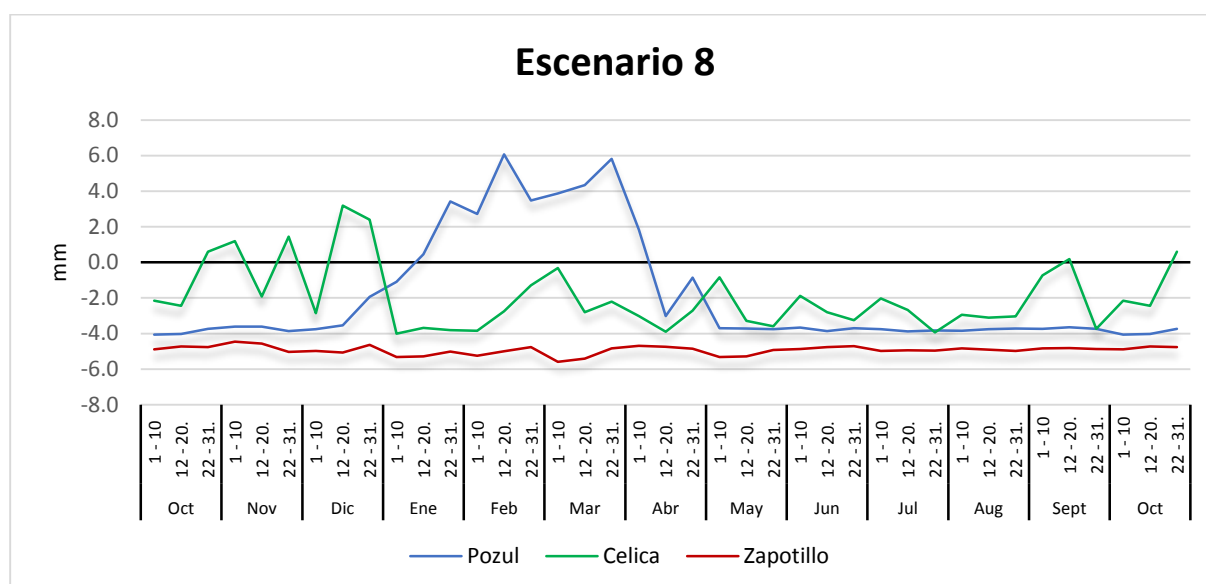


Gráfico 35. Escenario 8, Precipitación 50% y Evapotranspiración 100%.
Elaborado por: el autor.

El presente escenario simula una situación lamentable ya que la presencia de las lluvias genera en los agricultores expectativa para la siembra y no permite que se desarrollen los cultivos. La única estación que presenta valores positivos en el balance hídrico es Pozul, durante el mes de enero a marzo. Por otro lado, las estaciones de Célica y Zapotillo no presentan valores de balance hídrico positivos. Con la cantidad de agua precipitada es imposible construir reservorios.

En este escenario, únicamente la estación de Pozul tiene un balance hídrico superior desde la última década de diciembre, pero a finales de marzo los balances hídricos son negativos.

El escenario 8 analiza la probabilidad 50 % de precipitación y la probabilidad 100 % de cada estación. En este escenario la precipitación es baja. Pozul posee una máxima de 10.2 mm, seguida de Zapotillo con 0.4 mm y finalmente Célica con 7,2 mm. Sin embargo, en la precipitación promedio el más bajo es Zapotillo con 0 mm. En la sumatoria de precipitación la mayor se da en Célica, con 2,1 mm, seguido por Pozul con 2,2 mm. Por último se encuentra Zapotillo con 0 mm.

Entre tanto que las evapotranspiraciones máximas se encuentran en Zapotillo, con 5,6 mm día⁻¹, seguido por Célica, con 4,2 mm día⁻¹ y finalmente Pozul, con 4,2 mm día⁻¹. Los decadales mensuales con balance hídrico positivo son mayores en Célica, con 6, es decir 60 días de balance positivo, seguido de Pozul con 9 décadas de balance hídrico positivo, es decir 90 días, y finalmente Zapotillo con 0 décadas positivas, lo que equivale a 0 días.

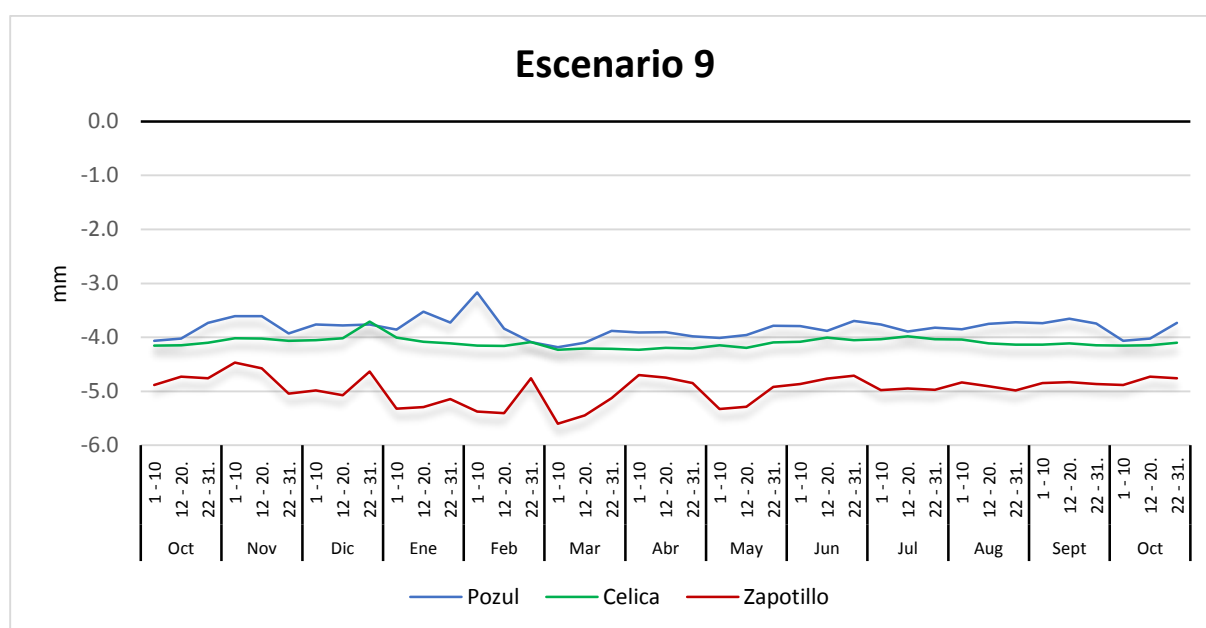


Gráfico 36. Escenario 9, Precipitación min y Evapotranspiración 100%.
Elaborado por: el autor.

En las estaciones de Célica, Zapotillo y Pozul el balance hídrico no es superior en ninguna década. Los escenarios 3, 6 y 9 son determinaciones de sequía que, tal como se establecieron, poseen recurrencias de 4 años.

La percepción de los agricultores al iniciar un nuevo año y no presenciar lluvias es dolorosa y analizan como su única posibilidad la migración, para tal efecto contemplan la venta de animales menores, la venta de su fuerza de trabajo, principalmente en las mineras o en labores agrícolas en la vecina provincia de El Oro. Los agricultores esperan a que sean las fiestas para retornar a su tierra.

4.2. Balance Hídrico con AQUACROP

4.1.5. Escenarios de siembra y modelamiento para productividad

A través del software AQUACROP se modeló el desarrollo de los cultivos de maíz para los diferentes escenarios climáticos descritos. Se consideraron las fechas de siembra desde los últimos 10 días de diciembre hasta febrero, mismas que se detallan a continuación.

Tabla 13. Siembra última semana diciembre

Características				Zapotillo					Célica					Pozul				
Mes de siembra	Cosecha	Pp	ETo	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom
Diciembre 21 - 31	23 de abril	75%	50%	196.7	7	3	66	46.2	196.7	4.7	2.3	50.6	50.2	196.7	5.8	2.8	61.6	56.1
		50%	50%	242.5	7.2	3.3	72.6		242.5	4.8	2.3	50.6		242.5	5.5	2.6	57.2	
		Min	50%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	75%	363.8	5.6	2	44		363.8	4.6	2.2	48.4		363.8	5.6	2.7	59.4	
		50%	75%	196.7	5.8	2.2	48.4		196.7	4.9	2.4	52.8		196.7	5.4	2.5	55	
		Min	75%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	Máx	318.0	4.1	1	22		318.0	4.6	2.2	48.4		318.0	5.2	2.4	52.8	
		50%	Máx	150.9	4.2	1.1	24.2		150.9	4.8	2.3	50.6		150.9	5.1	2.3	50.6	
		Min	Máx	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	

Elaborado por: el autor.

Para esta fecha de siembra se observa un balance hídrico máximo en el escenario 4, con 363,8 mm y 7 con 318,0 mm, esto implica tres meses de balance hídrico positivo que permiten desarrollar el cultivo. Mientras que los más bajos son los escenarios 3, 6 y 9 en donde los balances hídricos son negativos.

Los últimos diez días de diciembre, período en que inician las precipitaciones, el área sembrada es mínima. La estación que mejores resultados obtuvo fue Zapotillo y el escenario que mejor desarrollo muestra es el 2, cuando la ETo posee un 50% de probabilidad. Este escenario es el más optimista ya que tras el modelamiento, los resultados son aceptables. La siguiente estación es Pozul con el escenario número 1 que igualmente analiza la ETo en una probabilidad del 50%. Finalmente, la estación de Célica muestra una producción interesante cuando la ETo posee un 75% escenario 5. El promedio de producción en el escenario 2 es de 72.6 qq ha⁻¹ lo que significaría un ingreso de USD 1148.5 ha⁻¹. Ello implica que luego de 5 meses el productor llegue al punto de equilibrio en su producción, y posea un excedente por hectárea de 298.5.

En cuanto al escenario pesimista, en donde la precipitación posee un 75% de probabilidad y la evapotranspiración es la máxima, el promedio de producción es de 22 qq ha⁻¹ lo que representa un ingreso de USD 647.9 ha⁻¹, que no llega a cubrir los costos de producción. Finalmente, en el escenario promedio no se llega a tener ningún tipo de producción, por tal razón no se recomienda esta fecha de

siembra. Cabe señalar que los escenarios 3, 6 y 9 simulan las sequías, allí no existe producción y por ende implica pérdida total a su producción.

A continuación, el detalle de los ingresos:

Tabla 14. Ingresos última semana diciembre

Características					Zapotillo		Célica		Pozul	
Mes de siembra	Cosecha	Esc	Precio Maíz	Costo Producción	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos
Diciembre 21 - 31	23 de abril	1	\$ 15.82	\$ 850.00	66	\$ 194.12	50.6	\$ -49.51	61.6	\$ 124.51
		2	\$ 15.82	\$ 850.00	72.6	\$ 298.53	50.6	\$ -49.51	57.2	\$ 54.90
		3	\$ 15.82	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		4	\$ 15.82	\$ 850.00	44	\$ -153.92	48.4	\$ -84.31	59.4	\$ 89.71
		5	\$ 15.82	\$ 850.00	48.4	\$ -84.31	52.8	\$ -14.70	55	\$ 20.10
		6	\$ 15.82	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		7	\$ 15.82	\$ 850.00	22	\$ -501.96	48.4	\$ -84.31	52.8	\$ -14.70
		8	\$ 15.82	\$ 850.00	24.2	\$ -467.16	50.6	\$ -49.51	50.6	\$ -49.51
		9	\$ 15.82	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00

Elaborado por: el autor.

Los productores de la zona indican que los agricultores inician sus labores en mes de noviembre. En el *argot* popular este es el mes “más sólido” (Pogo C. , 2018).

Noviembre en la zona maicera siempre es un mes seco que refleja una tristeza en los campos en donde se expresa lo vacío, solitario, canicular y polvoriento del paisaje (Maldonado *et al.*, 2005), o en otras palabras, es un mes muy difícil para subsistir. En este mes escasea el agua y la hierba, sin embargo, inician las esporádicas lloviznas y los descensos de temperatura. Con este fenómeno comienza la preparación del suelo para la siembra, labor que consiste en cortar la maleza y los rebrotes con la lampa y el machete. La mayoría de los productores esperan a que las lluvias se *asienten*, es decir que las precipitaciones tengan mayor regularidad. Una vez cumplida esta condición, los productores deciden realizar la siembra. La esperanza de cosecha es de 80 a 100 qq ha⁻¹ dentro de lo calculado en el estudio.

Para esta fecha de siembra se posee un balance hídrico máximo en el escenario 4, con 363,8 mm y 7 con 318,0 mm. Esto implica tres meses de balance hídrico positivo que permiten desarrollar el cultivo. Mientras que los más bajos son los escenarios 3, 6 y 9 en donde los balances hídricos son negativos.

Los diez primeros días de enero, periodo en el que las precipitaciones poseen mayor frecuencia, es cuando los agricultores inician sus labores de siembra en mayor cantidad. El escenario que mejor desarrollo muestra es el 1, cuando la ETo posee un 50% de probabilidad. Este escenario es el más optimista debido a que tras el modelamiento, los resultados son aceptables. Seguido se encuentra el escenario número 2 que analiza la ETo en una probabilidad del 50%, el promedio de producción en

esta fecha de siembra es de 66 qq ha⁻¹, lo que implicaría un ingreso de USD 1144.44 ha⁻¹, logrando que el productor llegue al punto de equilibrio en su producción y posea un excedente por hectárea de 294.4, luego de 5 meses.

Tabla 15. Siembra enero 1 – 10

Características				Zapotillo					Célica					Pozul				
Mes de siembra	Cosecha	Pp	ETo	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom
Enero 1 - 10	4 de mayo	75%	50%	196.7	7	3	66	42.5	196.7	4.6	2.2	48.4	49.9	196.7	5.8	2.8	61.6	55.7
		50%	50%	242.5	7.4	2.4	52.8		242.5	4.8	2.3	50.6		242.5	5.5	2.6	57.2	
		Min	50%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	75%	363.8	5.9	2	44		363.8	4.6	2.2	48.4		363.8	5.6	2.6	57.2	
		50%	75%	196.7	6.2	2.2	48.4		196.7	4.9	2.4	52.8		196.7	5.3	2.5	55	
		Min	75%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	Máx	318.0	4	1	22		318.0	4.5	2.2	48.4		318.0	5.1	2.4	52.8	
		50%	Máx	150.9	4.2	1	22		150.9	4.8	2.3	50.6		150.9	5	2.3	50.6	
		Min	Máx	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	

Elaborado por: el autor.

En cuanto al escenario pesimista, en donde la precipitación posee un 50% de probabilidad y la evapotranspiración es la máxima, el promedio de producción es de 22 qq ha⁻¹ lo que implica un ingreso de USD. 381.48 ha⁻¹, misma que no llega a cubrir los costos de producción. Por tal razón no se recomienda esta fecha de siembra. En el escenario promedio de 52 qq ha⁻¹ (sin analizar los escenarios 3, 6 y 9), la ganancia es de USD. 901.6 ha⁻¹, lo que implica llegar a punto cercado de equilibrio.

Tabla 16. Ingresos enero 1 – 10

Características					Zapotillo		Célica		Pozul	
Mes de siembra	Cosecha	Esc	Precio Maíz	Costo Producción	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos
Enero 1 - 10	4 de mayo	1	\$ 17.34	\$ 850.00	66	\$ 294.44	48.4	\$ 10.74	61.6	\$ 218.14
		2	\$ 17.34	\$ 850.00	52.8	\$ 65.55	50.6	\$ 27.40	57.2	\$ 141.85
		3	\$ 17.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ 850.00		\$ 850.00
		4	\$ 17.34	\$ 850.00	44	\$ -87.04	48.4	\$ 10.74	57.2	\$ 141.85
		5	\$ 17.34	\$ 850.00	48.4	\$ -10.74	52.8	\$ 65.55	55	\$ 103.70
		6	\$ 17.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ 850.00		\$ 850.00
		7	\$ 17.34	\$ 850.00	22	\$ -468.52	48.4	\$ 10.74	52.8	\$ 65.55
		8	\$ 17.34	\$ 850.00	22	\$ -468.52	50.6	\$ 27.40	50.6	\$ 27.40
		9	\$ 17.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ 850.00		\$ 850.00

Elaborado por: el autor.

Con el inicio de las primeras lluvias, el campo está listo para la siembra, “la familia entera trabaja a duras jornadas” (Pogo M. , 2018). Primero se siembran los sectores altos, de pendiente alta,

posteriormente los bajos, y planos. Se trabaja en fila india, el padre o la madre adelante, van hoyando con una tola o esqueje y luego los hijos, cargando la alforja con semillas, dan tres granos por golpe y cubren la semilla con el pie. Generalmente la fecha de siembra depende de las primeras lluvias y de las fases de la luna (Pogo M. , 2018). La perspectiva de cosecha para esta fecha es de 80 – 100 qq ha⁻¹ sin tecnificación ni fertilización.

Tabla 17. Siembra enero 11 - 20

Características				Zapotillo					Célica					Pozul				
Mes de siembra	Cosecha	Pp	ETo	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom
Enero 11 - 20	14 de mayo	75%	50%	196.7	6.4	2.6	57.2	41.8	196.7	4.5	2.2	48.4	49.1	196.7	5.5	2.6	57.2	52.8
		50%	50%	242.5	6.8	3	66		242.5	4.6	2.3	50.6		242.5	5.3	2.5	55	
		Min	50%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	75%	363.8	5.5	1.7	37.4		363.8	4.5	2.2	48.4		363.8	5.3	2.5	55	
		50%	75%	196.7	5.8	2	44		196.7	4.7	2.3	50.6		196.7	5.1	2.4	52.8	
		Min	75%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	Máx	318.0	3.8	1.1	24.2		318.0	4.4	2.2	48.4		318.0	4.8	2.1	46.2	
		50%	Máx	150.9	4.1	1	22		150.9	4.3	2.2	48.4		150.9	5	2.3	50.6	
		Min	Máx	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	

Elaborado por: el autor.

Los días del periodo entre 11 – 20 de enero, las precipitaciones poseen mayor frecuencia y cantidad. Los agricultores siembran en mayor cantidad, maíz. El escenario que mejor desarrollo muestra es el 2, cuando la ETo posee un 50% de probabilidad. Este escenario es el más optimista, ya que tras el modelamiento los resultados son aceptables. Seguido se encuentra el escenario número 5 que analiza la ETo en una probabilidad del 75. El escenario 2 muestra una producción en esta fecha de siembra, que es de 66 qq ha⁻¹ , lo que implicaría un ingreso de USD. 1144.44 ha⁻¹, logrando que el productor llegue al punto de equilibrio en su producción, y por ende, luego de 5 meses posea un excedente por hectárea de 294.4.

En cuanto al escenario pesimista 8, en donde la precipitación posee un 50% de probabilidad y la evapotranspiración es la máxima, el promedio de producción es de 22 qq ha⁻¹ lo que implica un ingreso de USD. 381.48 ha⁻¹, mismo que no llega a cubrir los costos de producción. Por tal razón no se recomienda esta fecha de siembra. En el promedio de escenarios 49.1 qq ha⁻¹, la ganancia es de USD. 851.39 ha⁻¹, lo que significa llegar a punto de equilibrio y obtener un excedente de USD. 1.4 ha⁻¹. Cabe señalar que los escenarios 3, 6 y 9 simulan sequía, por lo tanto no son referentes. A continuación, el detalle de los ingresos:

Tabla 18. Ingresos enero 11 – 20

Características					Zapotillo		Célica		Pozul	
Mes de siembra	Cosecha	Esc	Precio Maíz	Costo Producción	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos
Enero 11 - 20	14 de mayo	1	\$ 17.34	\$ 850.00	57.2	\$ 141.85	48.4	\$ 10.74	57.2	\$ 141.85
		2	\$ 17.34	\$ 850.00	66	\$ 294.44	50.6	\$ 27.40	55	\$ 103.70
		3	\$ 17.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ 850.00		\$ 850.00
		4	\$ 17.34	\$ 850.00	37.4	\$ -201.48	48.4	\$ 10.74	55	\$ 103.70
		5	\$ 17.34	\$ 850.00	44	\$ -87.04	50.6	\$ 27.40	52.8	\$ 63.55
		6	\$ 17.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ 850.00		\$ 850.00
		7	\$ 17.34	\$ 850.00	24.2	\$ -430.37	48.4	\$ 10.74	46.2	\$ 48.89
		8	\$ 17.34	\$ 850.00	22	\$ -468.52	48.4	\$ 10.74	50.6	\$ 27.40
		9	\$ 17.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ 850.00		\$ 850.00

Elaborado por: el autor.

Tabla 19. Siembra enero 21 – 31.

Tabla 15. Siembra enero 21 - 31.																		
Características				Zapotillo				Célica					Pozul					
Mes de siembra	Cosecha	Pp	ETo	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom
Enero 21 - 31	24 de mayo	75%	50%	196.7	6	2.5	55	41.1	196.7	4.6	2.2	48.4	49.5	196.7	5.6	2.7	59.4	54.3
		50%	50%	242.5	6.4	2.8	61.6		242.5	4.7	2.3	50.6		242.5	5.5	2.6	57.2	
		Min	50%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	75%	363.8	5.2	1.7	37.4		363.8	4.6	2.2	48.4		363.8	5.3	2.5	55	
		50%	75%	196.7	5.5	2	44		196.7	4.8	2.3	50.6		196.7	5.3	2.5	55	
		Min	75%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	Máx	318.0	3.8	1.1	24.2		318.0	4.5	2.2	48.4		318.0	4.9	2.2	48.4	
		50%	Máx	150.9	4	1.1	24.2		150.9	4.7	2.3	50.6		150.9	4.9	2.3	50.6	
		Min	Máx	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	

Elaborado por: el autor.

Los días finales del mes de enero, las precipitaciones aumentan en intensidad. Los agricultores al observar mayor contenido de humedad en el suelo siembran con mayor seguridad. En estas fechas el balance hídrico supera los 150 mm en todos los escenarios, el mayor balance hídrico es 363.8 mm cuando se analiza la precipitación y ETo al 75%. El escenario que mejor desarrollo muestra es el 2, cuando la ETo posee un 50% de probabilidad. Este escenario es el más optimista, tras el modelamiento los resultados son aceptables. Seguido se encuentra el escenario número 1 que analiza la ETo en una probabilidad del 50%. El promedio de producción en el escenario 2 es de 61.6 qq ha⁻¹ lo que implicaría un ingreso de USD. 1068.14 ha⁻¹. Ello hace que el productor llegue al punto de equilibrio en su producción y posea un excedente por hectárea de USD. 218,14 ha⁻¹, luego de 5 meses.

En cuanto al escenario pesimista 8, en donde la precipitación posee un 50% de probabilidad y la evapotranspiración es la máxima, el promedio de producción es de 24,2 qq ha⁻¹ lo que implica un

ingreso de USD. 419.6 ha⁻¹, mismo que no llega a cubrir los costos de producción. Por tal razón no se recomienda esta fecha de siembra. En el promedio de escenarios 41,1 qq ha⁻¹, la ganancia es de USD. 712,67 ha⁻¹ lo que implica llegar a punto de equilibrio, y obtener un excedente de USD. 9,8 ha⁻¹. A continuación, se presentan los valores de ingresos para todos los meses.

Tabla 20. Ingresos enero 21 – 31

Características					Zapotillo		Célica		Pozul	
Mes de siembra	Cosecha	Esc	Precio Maíz	Costo Producción	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos
Enero 21 - 31	24 de mayo	1	\$ 17.34	\$ 850.00	55	\$ 103.70	48.4	\$ -10.74	59.4	\$ 180.00
		2	\$ 17.34	\$ 850.00	61.6	\$ 218.14	50.6	\$ 27.40	57.2	\$ 141.85
		3	\$ 17.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		4	\$ 17.34	\$ 850.00	37.4	\$ -201.48	48.4	\$ -10.74	55	\$ 103.70
		5	\$ 17.34	\$ 850.00	44	\$ -87.04	50.6	\$ 27.40	55	\$ 103.70
		6	\$ 17.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		7	\$ 17.34	\$ 850.00	24.2	\$ -430.37	48.4	\$ -10.74	48.4	\$ -10.74
		8	\$ 17.34	\$ 850.00	24.2	\$ -430.37	50.6	\$ 27.40	50.6	\$ 27.40
		9	\$ 17.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00

Elaborado por: el autor.

Tabla 21. Siembra febrero 1 – 10

Características				Zapotillo					Célica					Pozul				
Mes de siembra	Cosecha	Pp	ETo	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom
Febrero 1 -10	4 de junio	75%	50%	196.7	5.7	2.4	52.8	42.2	196.7	4.6	2.2	48.4	49.5	196.7	5.5	2.6	57.2	54.3
		50%	50%	242.5	5.9	2.5	55		242.5	4.7	2.3	50.6		242.5	5.6	2.7	59.4	
		Min	50%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	75%	363.8	5.1	2	44		363.8	4.6	2.2	48.4		363.8	5.3	2.5	55	
		50%	75%	196.7	5.3	2.1	46.2		196.7	4.8	2.3	50.6		196.7	5.3	2.5	55	
		Min	75%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	Máx	318.0	3.8	1.2	26.4		318.0	4.5	2.2	48.4		318.0	4.8	2.2	48.4	
		50%	Máx	150.9	4	1.3	28.6		150.9	4.7	2.3	50.6		150.9	5	2.3	50.6	
		Min	Máx	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	

Elaborado por: el autor.

Durante los días iniciales del mes de enero, las precipitaciones aumenten en intensidad. Los agricultores, al observar mayor contenido de humedad en el suelo, siembran con mayor seguridad. Además, las precipitaciones poseen mayor frecuencia y a decir de los agricultores esta fecha evita los veranillos y por lo tanto aumenta el porcentaje de germinación. El escenario que mejor desarrollo muestra es el 2, cuando la ETo posee un 50% de probabilidad, este escenario es el más optimista dado que tras el modelamiento, los resultados son aceptables. Seguido se encuentra el escenario número 7 que analiza la ETo Máx. El promedio de producción en el escenario 2 es de 55 qq ha⁻¹ lo que

implicaría un ingreso de USD. 98,7 ha⁻¹, generando que el productor llegue al punto de equilibrio en su producción y posea un excedente por hectárea de USD. 48,7 ha⁻¹ luego de 5 meses.

En cuanto al escenario pesimista 8, en donde la precipitación posee un 50% de probabilidad y la evapotranspiración es la máxima, el promedio de producción es de 26,4 qq ha⁻¹ lo que implica un ingreso de USD. 431,38 ha⁻¹, mismo que no llega a cubrir los costos de producción. Por tal razón no se recomienda esta fecha de siembra. En el promedio de escenarios 42,2 qq ha⁻¹, la ganancia es de USD. 686,3 ha⁻¹, lo que implica llegar a punto de equilibrio y no obtener excedente. A continuación, se presenta el detalle de ingresos por cada escenario.

Tabla 22. Ingresos febrero 1- 10

Mes de siembra	Cosecha	Esc	Precio Maíz	Costo Producción	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos
Febrero 1 -10	4 de junio	1	\$ 16.34	\$ 850.00	52.8	\$ 12.75	48.4	\$ -59.14	57.2	\$ 84.65
		2	\$ 16.34	\$ 850.00	55	\$ 48.70	50.6	\$ -23.20	59.4	\$ 120.60
		3	\$ 16.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		4	\$ 16.34	\$ 850.00	44	\$ -131.04	48.4	\$ -59.14	55	\$ 48.70
		5	\$ 16.34	\$ 850.00	46.2	\$ -95.09	50.6	\$ -23.20	55	\$ 48.70
		6	\$ 16.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		7	\$ 16.34	\$ 850.00	26.4	\$ -418.62	48.4	\$ -59.14	48.4	\$ -59.14
		8	\$ 16.34	\$ 850.00	28.6	\$ -382.68	50.6	\$ -23.20	50.6	\$ -23.20
		9	\$ 16.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00

Elaborado por: el autor.

En este mes se realizan las resiembras y la primera deshierba, con ayuda de la lampa o el machete. En la actualidad los productores usan moto guadañas para disminuir costos; “si la chacra es grande se debe contratar mano de obra, generalmente, por un tema de economía y calidad, esta mano de obra viene del Perú” (Pogo C. , 2018).

Tabla 23. Siembra febrero 11 -20

Características				Zapotillo					Célica					Pozul				
Mes de siembra	Cosecha	Pp	ETo	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom
Febrero 11 - 20	14 de junio	75%	50%	196.7	5.956	2.57	56.54	44.3	196.7	4.6	2.3	50.6	50.2	196.7	5.5	2.7	59.4	55.0
		50%	50%	242.5	6.1	2.7	59.4		242.5	4.7	2.3	50.6		242.5	5.7	2.7	59.4	
		Min	50%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	75%	363.8	5.3	2.1	46.2		363.8	5	2.2	48.4		363.8	5.3	2.5	55	
		50%	75%	196.7	5.4	2.1	46.2		196.7	4.8	2.36	51.92		196.7	5.4	2.6	57.2	
		Min	75%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	Máx	318.0	3.9	1.3	28.6		318.0	4.5	2.22	48.84		318.0	4.9	2.2	48.4	
		50%	Máx	150.9	4	1.3	28.6		150.9	4.7	2.3	50.6		150.9	5	2.3	50.6	
		Min	Máx	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	

Elaborado por: el autor.

Los días del 11 - 20 de febrero las precipitaciones aumenten en intensidad, los agricultores consideran esta fecha como la mejor para la siembra. El escenario que presenta un desarrollo más óptimo es el 2, cuando la ETo posee un 50% de probabilidad, este escenario es el más optimista, ya que tras el modelamiento los resultados son aceptables. Seguido se encuentra el escenario número 1 que analiza la ETo en una probabilidad del 75%. El promedio de producción en el escenario 2 es de 59,4 qq ha⁻¹ lo que implicaría un ingreso de USD. 970,6 ha⁻¹, generando que el productor llegue al punto de equilibrio en su producción, y posea un excedente por hectárea de USD. 120,6 ha⁻¹ luego de 5 meses.

En cuanto al escenario pesimista 8, en donde la precipitación posee un 50% de probabilidad y la evapotranspiración es la máxima, el promedio de producción es de 28,6 qq ha⁻¹, lo que implica un ingreso de USD. 467,9 ha⁻¹. Este ingreso no llega a cubrir los costos de producción, por tal razón no se recomienda esta fecha de siembra. En el promedio de escenarios 44,6 qq ha⁻¹, la ganancia es de USD. 728,76 ha⁻¹ lo que implica llegar a punto de equilibrio, y no obtener excedente. A continuación, el detalle de los ingresos.

Tabla 24. Ingresos febrero 11 – 20

Características					Zapotillo		Célica		Pozul	
Mes de siembra	Cosecha	Esc	Precio Maíz	Costo Producción	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos
Febrero 11 - 20	14 de junio	1	\$ 16.34	\$ 850.00	56.54	\$ 73.86	50.6	\$ -23.20	59.4	\$ 120.60
		2	\$ 16.34	\$ 850.00	59.4	\$ 120.60	50.6	\$ -23.20	59.4	\$ 120.60
		3	\$ 16.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		4	\$ 16.34	\$ 850.00	46.2	\$ -95.09	48.4	\$ -59.14	55	\$ 48.70
		5	\$ 16.34	\$ 850.00	46.2	\$ -95.09	51.92	\$ -1.63	57.2	\$ 84.65
		6	\$ 16.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		7	\$ 16.34	\$ 850.00	28.6	\$ -382.68	48.84	\$ -51.95	48.4	\$ -59.14
		8	\$ 16.34	\$ 850.00	28.6	\$ -382.68	50.6	\$ -23.20	50.6	\$ -23.20
		9	\$ 16.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00

Elaborado por: el autor.

Los días finales de febrero las precipitaciones aumentan en intensidad. Los agricultores, al observar mayor contenido de humedad en el suelo siembran con mayor seguridad. Las actividades productivas en la zona maicera se evidencian por el movimiento económico, que da como resultado un aumento del empleo rural. El escenario que mejor desarrollo muestra es el 2, cuando la ETo posee un 50% de probabilidad, este escenario es el más optimista, ya que tras el modelamiento los resultados son aceptables. Seguido se encuentra el escenario número 1 que analiza la ETo en una probabilidad del 75%. El promedio de producción en el escenario 2 es de 66 qq ha⁻¹ lo que implicaría un ingreso de USD. 1078,44 ha⁻¹, haciendo que el productor llegue al punto de equilibrio en su producción, y posea un excedente por hectárea de USD. 228,4 ha⁻¹ luego de 5 meses.

Tabla 25. Siembra febrero 21 - 28

Características				Zapotillo					Célica					Pozul				
Mes de siembra	Cosecha	Pp	ETo	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom	Balance Hídrico	Biom ton/ha	AquaCrop Ton/ha	qq/ha	Prom
Febrero 21 - 28	24 de julio	75%	50%	196.7	6.5	2.9	63.8	48.2	196.7	4.6	2.2	48.4	49.5	196.7	5.6	2.7	59.4	56.4
		50%	50%	242.5	6.6	3	66		242.5	4.7	2.3	50.6		242.5	5.7	2.8	61.6	
		Min	50%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	75%	363.8	5.6	2.2	48.4		363.8	4.6	2.2	48.4		363.8	5.4	2.57	56.54	
		50%	75%	196.7	5.8	2.3	50.6		196.7	4.8	2.3	50.6		196.7	5.5	2.6	57.2	
		Min	75%	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	
		75%	Máx	318.0	4	1.37	30.14		318.0	4.5	2.2	48.4		318.0	5	2.3	50.6	
		50%	Máx	150.9	4.1	1.38	30.36		150.9	4.7	2.3	50.6		150.9	5.2	2.4	52.8	
		Min	Máx	0.0	0	0	0		0.0	0	0	0		0.0	0	0	0	

Elaborado por: el autor.

En cuanto al escenario pesimista 8, en donde la precipitación posee un 50% de probabilidad y la evapotranspiración es la máxima, el promedio de producción es de 30,14 qq ha⁻¹, ello implica un ingreso de USD. 492,5 ha⁻¹, mismo que no llega a cubrir los costos de producción. Por tal razón no se recomienda esta fecha de siembra. En el promedio de escenarios 48,2 qq ha⁻¹, la ganancia es de USD. 787 ha⁻¹, lo que significa llegar a punto de equilibrio, y no obtener excedente. A continuación, se presenta el detalle de ingresos de todos los escenarios para esta fecha de siembra.

Tabla 26. Ingresos febrero 21- 28

Características					Zapotillo		Célica		Pozul	
Mes de siembra	Cosecha	Esc	Precio Maíz	Costo Producción	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos
Febrero 21 - 28	24 de julio	1	\$ 16.34	\$ 850.00	63.8	\$ 192.49	48.4	\$ -59.14	59.4	\$ 120.60
		2	\$ 16.34	\$ 850.00	66	\$ 228.44	50.6	\$ -23.20	61.6	\$ 156.54
		3	\$ 16.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		4	\$ 16.34	\$ 850.00	48.4	\$ -59.14	48.4	\$ -59.14	56.54	\$ 73.86
		5	\$ 16.34	\$ 850.00	50.6	\$ -23.20	50.6	\$ -23.20	57.2	\$ 84.65
		6	\$ 16.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00
		7	\$ 16.34	\$ 850.00	30.14	\$ -357.51	48.4	\$ -59.14	50.6	\$ -23.20
		8	\$ 16.34	\$ 850.00	30.36	\$ -353.92	50.6	\$ -23.20	52.8	\$ 12.75
		9	\$ 16.34	\$ 850.00		\$ -850.00		\$ -850.00		\$ -850.00

Elaborado por: el autor.

4.1.6. Análisis del mejor escenario

Tras realizar el análisis de 189 escenarios de balance hídrico con las fechas de siembra del maíz usando el software de la FAO AQUACROP se puede visualizar que los escenarios que mejor producción generan en la simulación son el 2, seguido por el 5. Asimismo, es posible determinar que

la mejor fecha de siembra es durante los 10 primeros días de enero, y últimos de diciembre. A continuación, se presenta el detalle de producción.

Tabla 27. Resultados mejores escenarios.

Características			Zapotillo		Célica		Pozul	
Mes de siembra	Cosecha	Ese	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos	qq/ha	Ingresos
Diciembre 21 - 31	23 de abril	1	66	\$ 194.12	50.6	\$ -49.51	61.6	\$ 124.51
		2	72.6	\$ 298.53	50.6	\$ -49.51	57.2	\$ 54.90
		4	44	\$ -153.92	48.4	\$ -84.31	59.4	\$ 89.71
		5	48.4	\$ -84.31	52.8	\$ -14.70	55	\$ 20.10
Enero 1 - 10	4 de mayo	1	66	\$ 294.44	48.4	\$ -10.74	61.6	\$ 218.14
		5	48.4	\$ -10.74	52.8	\$ 65.55	55	\$ 103.70
Enero 11 - 20	14 de mayo	2	66	\$ 294.44	50.6	\$ 27.40	55	\$ 103.70
Febrero 1 -10	4 de junio	2	55	\$ 48.70	50.6	\$ -23.20	59.4	\$ 120.60
Febrero 11 - 20	14 de junio	1	56.54	\$ 73.86	50.6	\$ -23.20	59.4	\$ 120.60
		2	59.4	\$ 120.60	50.6	\$ -23.20	59.4	\$ 120.60
		5	46.2	\$ -95.09	51.92	\$ -1.63	57.2	\$ 84.65
Febrero 21 - 28	24 de julio	1	63.8	\$ 192.49	48.4	\$ -59.14	59.4	\$ 120.60
		2	66	\$ 228.44	50.6	\$ -23.20	61.6	\$ 156.54

Elaborado por: el autor.

Los peores escenarios o los más críticos son los 3, 6 y 9. Como se indicó, son los que representan sequías. Sin embargo, se puede observar que al simular la siembra durante los últimos días de enero no se obtienen producciones interesantes, ello confirma los testimonios de los maiceros de la zona, quienes han indicado que al final de enero existe un veranillo que generara pérdidas en la producción. Asimismo, según el criterio de los agricultores la mejor fecha de siembra fue el 21 de febrero, que coincide con la fecha de siembra que actualmente posee la población de la zona maicera de Loja. Por otro lado se puede observar que el lugar más propicio para la siembra es Pozul, ya que en caso de sequía tendrá una producción considerable. Este resultado propone un análisis más detallado del estrés hídrico para cada etapa fenológica.

4.1.7. Análisis del comportamiento del cultivo en el escenario optimista

Célica escenario 2 (Optimista), el desarrollo del cultivo se ve estresado por los siguientes parámetros: 54% de transpiración, a partir del día 80, etapa de floración. En este caso el suelo se encuentra a capacidad de campo únicamente hasta la mitad del ciclo productivo (60 días), lo que implica que genere una gran producción de biomasa que no pasa a convertirse en producción de maíz. En el Gráfico 37, se presenta la modelación. Cabe señalar que de acuerdo a las versiones de los productores de la zona, según las variedades sembradas, cuando el maíz no posee agua durante 10 a 20 días (dependiendo de la temperatura) se pierde la cosecha.

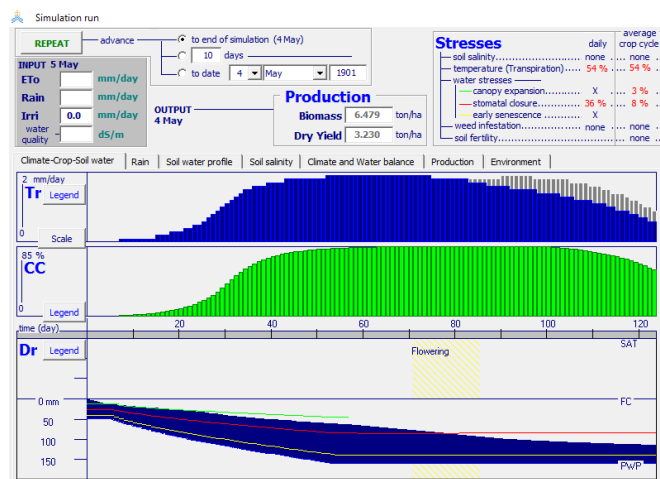


Gráfico 37. Simulación escenario 3 Céllica.
 Elaborado por: el autor.

Pozul escenario 2 (Optimista): el desarrollo del cultivo se ve estresado por los siguientes parámetros, 29% de transpiración, a partir del día 80. Etapa de floración, en este caso el suelo se encuentra a capacidad de campo únicamente hasta al menos de la mitad del ciclo productivo (50 días), lo que implica que genere una gran producción de biomasa que no pasa a convertirse en producción de maíz. En el Gráfico 38 que se muestra a continuación, se presenta la modelación. Por la falta de humedad en el suelo los estomas poseen un cierre que alcanza un 29%.

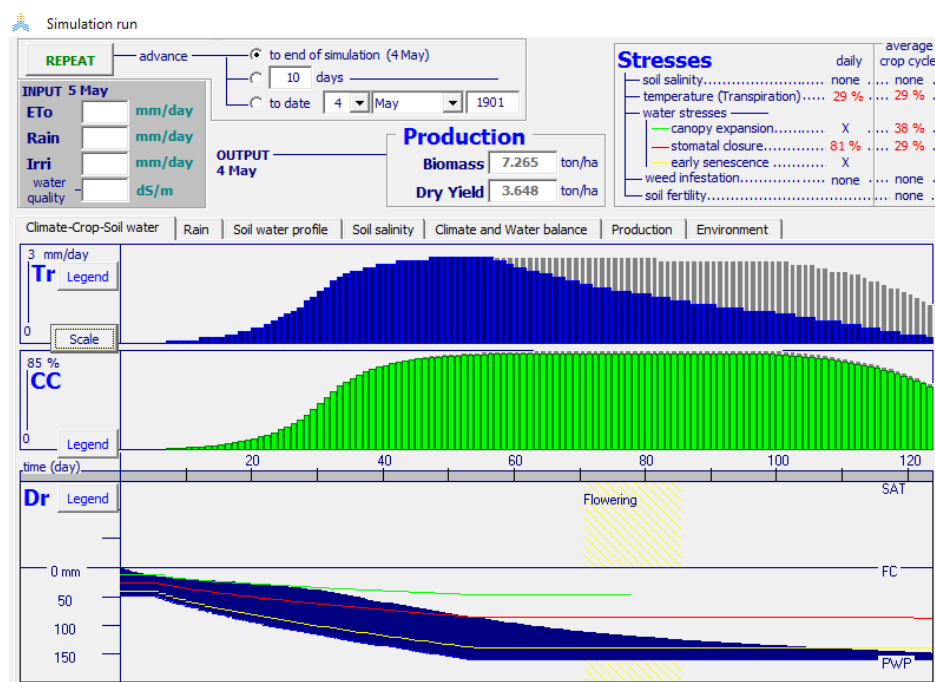


Gráfico 38. Simulación escenario AquaCrop.
 Elaborado por: el autor.

Zapotillo escenario 2 (Optimista): para este escenario la temperatura para el desarrollo del cultivo es excelente, a partir del día 30, etapa de crecimiento. En este caso el suelo se encuentra a capacidad de

campo, lo que implica que genera una producción de biomasa muy alta ($10,93 \text{ t ha}^{-1}$) que no pasa a convertirse en producción de maíz. Por la falta de humedad en el suelo los estomas poseen un cierre que alcanza un 25%. En el gráfico 39 que se muestra a continuación, se presenta la modelación.

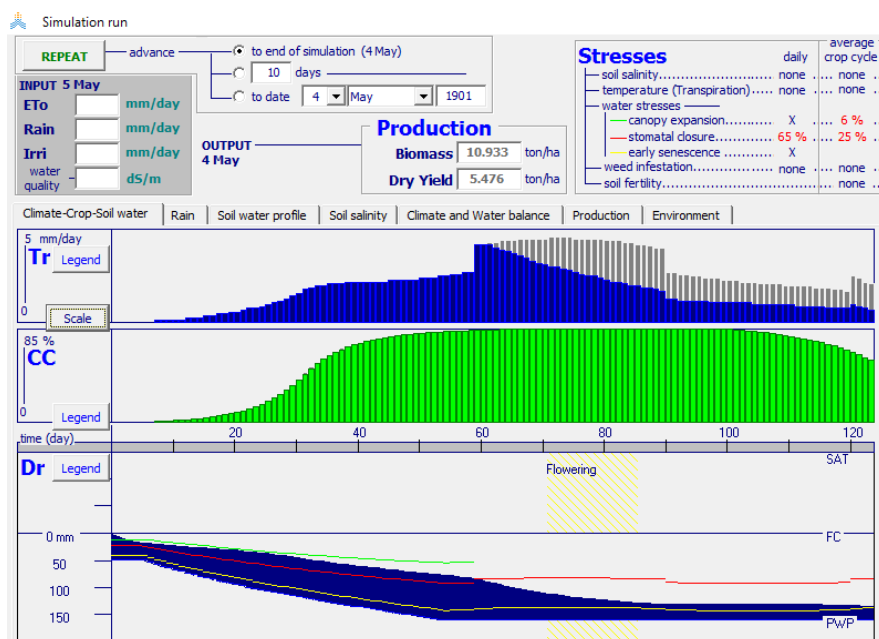


Gráfico 39. Simulación escenario 3 Célica.
Elaborado por: el autor.

4.3.3. Escenario Pesimista 8

Célica, escenario 8 (Pesimista): para este escenario la temperatura para el desarrollo del cultivo no es la óptima, generando un 54% de estrés, a partir del día 30, etapa de crecimiento. En este caso, el suelo se encuentra a capacidad de campo, esto impide que el cultivo se desarrolle. Debido a la falta de humedad en el suelo los estomas poseen un cierre que alcanza un 28%. En la imagen siguiente se presenta la modelación.

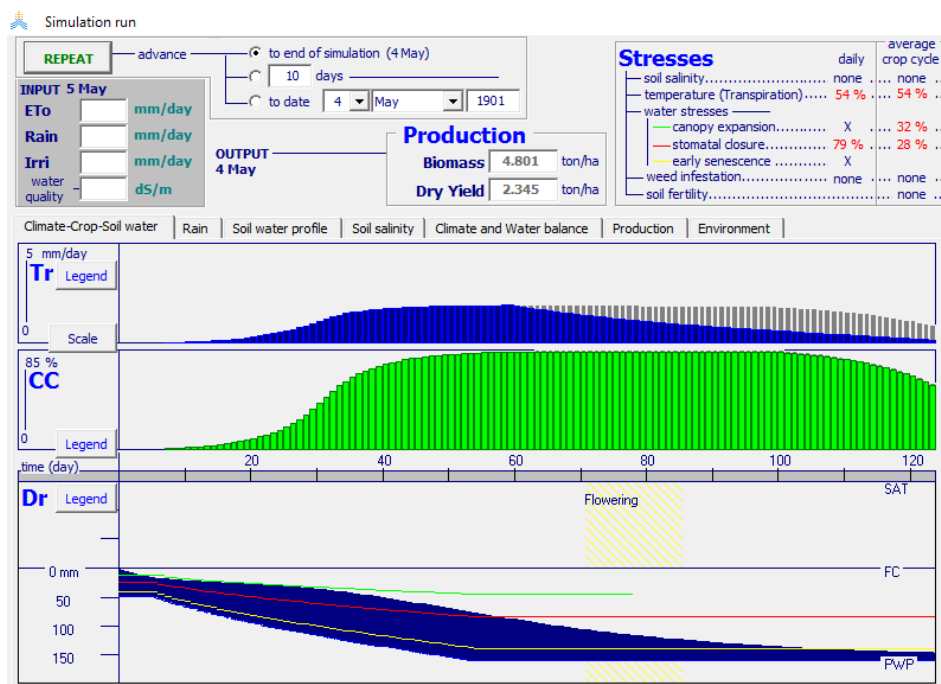


Gráfico 40. Simulación escenario AquaCrop.
Elaborado por: el autor.

Pozul escenario 8 (Pesimista): para este escenario la temperatura para el desarrollo del cultivo no es la óptima, generando un 29% de estrés, a partir del día 35, etapa de crecimiento. En este caso, el suelo se encuentra a capacidad de campo, esto impide que el cultivo se desarrolle. Por la falta de humedad en el suelo, los estomas poseen un cierre que alcanza un 44%, tal como se puede apreciar en el Gráfico 41.

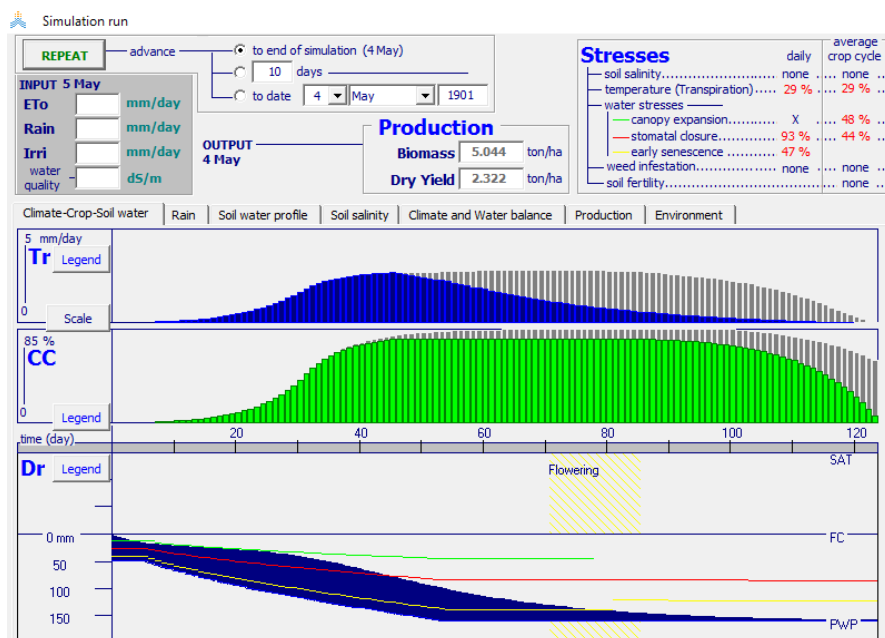


Gráfico 41. Simulación escenario AquaCrop.
Elaborado por: el autor.

Zapotillo escenario 8 (Pesimista): para este escenario la temperatura para el desarrollo del cultivo es la óptima, a partir del día 30, etapa de crecimiento. En este caso el suelo se encuentra a capacidad de campo, esto impide que el cultivo se desarrolle. Por la falta de humedad en el suelo los estomas poseen un cierre de estomas que alcanza un 47%. En el gráfico número 42, a continuación se presenta la modelación.

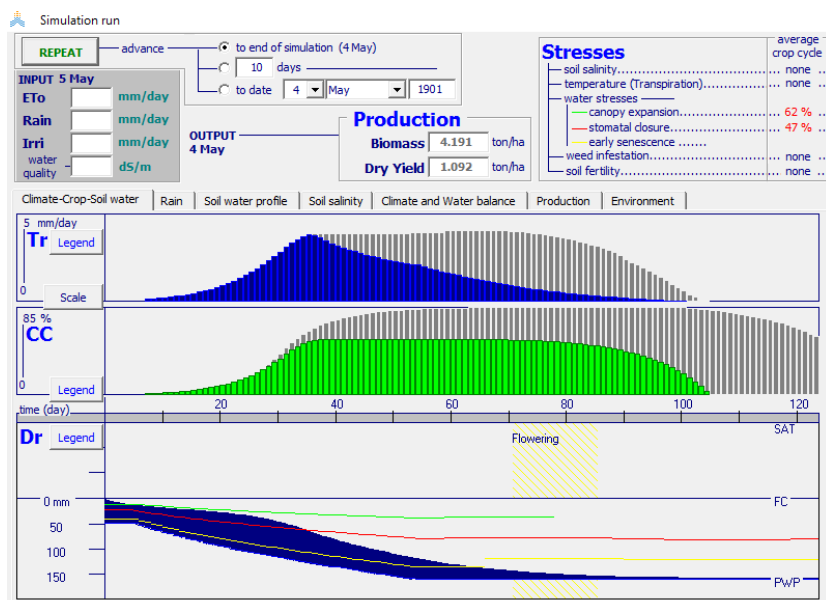


Gráfico 42. Simulación escenario AquaCrop.
Elaborado por: el autor.

4.1.8. Simulación del mejor escenario usando el paquete de fertilización

El desarrollo del maíz de la zona en su totalidad corresponde a los *kits* de maíz que comercializan las casas comerciales con el subsidio del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), por tal razón se ha simulado la siembra del cultivo con los parámetros de fertilización disponibles en el kit, simulado con el mejor escenario 2 Pozul, durante la fecha de siembra 1 – 10 de enero. En el gráfico número 43 se pueden observar los resultados. El rendimiento es de 7,02 ton ha⁻¹ equivalente a 154,44 qq ha⁻¹. Esta producción genera a los productores de la zona una utilidad de USD. 1828 ha⁻¹.

Cabe señalar que los costos de producción para todos los escenarios son calculados incluyendo fertilizantes, semilla, mano de obra, transporte y demás costos que se consideran para el desarrollo y venta en pie de finca, ello con la finalidad de obtener utilidad.

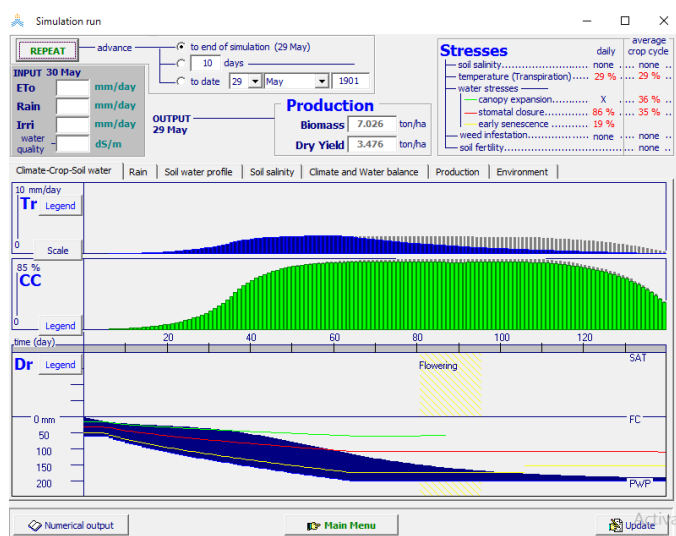


Gráfico 43. Simulación del mejor escenario
Elaborado por: el autor.

4.1.9. Reservorios como medida de mitigación a la sequía

- Realizar un análisis de vaciado y llenado de reservorios para la producción del cultivo de maíz según los requerimientos del escenario óptimo, considerando óptimo para el desarrollo de este trabajo investigativo como 150 qq ha⁻¹.

Si el cultivo de maíz tuviera acceso a riego complementario tendría una mayor producción y disminuiría la vulnerabilidad de sequía para los escenarios analizados. Para proveer riego complementario es necesario construir estructuras hidráulicas que permitan captar o cosechar el agua de escorrentías superficiales. A continuación se presentan dos alternativas de estructuras hidráulicas que permitan almacenar agua y desarrollar el cultivo de maíz.

4.1.10. Almacenamiento de agua a partir superficies impermeables

Consiste en captar el agua de las lluvias de los techos o de estructuras impermeables para posteriormente usarlas para riego. La cantidad de agua que se puede cosechar depende de la intensidad de la lluvia. La demanda de agua es 200 m³ cada 10 días, tal como se muestra en la Tabla 28.

Tabla 28. Balance de reservorio

Fechas	Día de siembra	Pp Efc	ETc	Kc	ETc	Déficit	Volumen/ha	Frecuencia de Riego	Vol. Remanente
Mes	día	mm/día	mm/día		mm/día	mm/día	m3/día/ha	3/día	m³
Enero	0 - 10	0.00	5.32	0.55	2.93	-2.93	-29.28	-87.85	112.15
	12 - 20.	0.77	5.29	0.55	2.91	-2.14	-21.43	-64.30	135.70
	22 - 31.	1.11	5.14	0.92	4.73	-3.63	-36.27	-108.80	91.20
Febrero	0 - 10	3.44	5.37	0.92	4.94	-1.51	-15.07	-45.20	154.80
	11 - 20.	7.77	5.41	0.92	4.97	2.79	27.94	83.83	283.83
	21 - 28.	5.25	4.76	0.92	4.38	0.87	8.69	26.07	226.07
Marzo	0 - 10	5.29	5.60	1.10	6.16	-0.87	-8.74	-26.22	173.78
	11 - 20.	7.16	5.45	1.10	5.99	1.17	11.72	35.15	235.15
	21 - 31.	12.48	5.12	1.10	5.64	6.85	68.48	205.44	405.44
Abril	0 - 10	3.90	4.70	1.10	5.17	-1.26	-12.62	-37.87	162.13
	11 - 20.	1.65	4.75	0.83	3.94	-2.29	-22.88	-68.64	131.36
	21 - 31.	0.67	4.85	0.83	4.02	-3.35	-33.50	-100.51	99.49
Mayo	0 - 10	0.00	5.33	0.83	4.42	-4.42	-44.22	-132.66	67.34

Elaborado por: el autor.

En el desarrollo de la presente investigación se trabajó por cada decadal, es decir cada 10 días de información, por tal razón, las alternativas descritas permiten calcular el almacenamiento de agua necesario para ese número de días. Para almacenar 200 m³ cada 10 días se requieren las siguientes condiciones:

- La intensidad de lluvia para un período de retorno de 10 años y un tiempo de concentración de 60 minutos fue de 42,3 mm/h (INAMHI 2015).
- Una superficie de captación de 20m * 20m (400 m²).
- El coeficiente de escorrentía adoptado de 0,5 (Ing. Harunobu Inoue, Experto de JICA).

De esta forma, cada 10 días se podrá almacenar 200 m³. Una opción es la diagramada en el Gráfico 44 en donde el agua es captada por los techos de las viviendas. Otra opción es la del Gráfico 44, en donde el agua se capta de la superficie del suelo, colocando materiales impermeables.

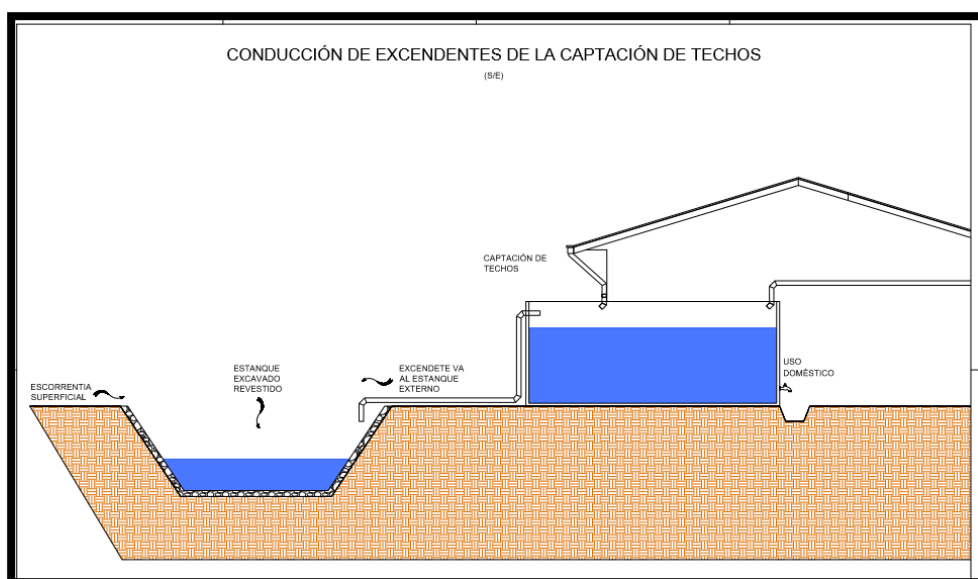


Gráfico 44. Conducción de excedentes de la Captación Techos
Elaborado por: el autor.

De esta forma se modela la operación del reservorio, la cual garantizará el correcto desarrollo del maíz. Los últimos 10 días del mes de marzo el volumen de posibilidad de captación es mayor debido a la abundancia de las precipitaciones, sin embargo, según los cálculos no es necesario ampliarlo.

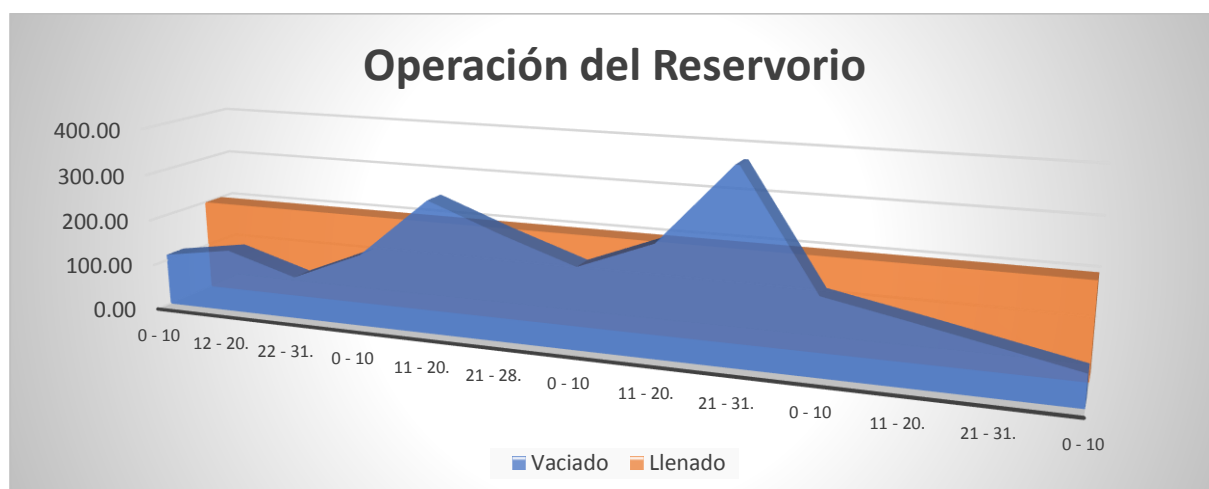


Gráfico 45. Operación del Reservorio.
Elaborado por: el autor.

Por tal razón se ha realizado el cálculo de llenado y vaciado de un reservorio óptimo por hectárea para que los productores aseguren su cosecha. Cabe señalar que se considera únicamente la demanda del reservorio para el escenario más crítico, tomando en cuenta que la precipitación es uno de los meteoros más relevantes a analizar para la determinación de los recursos hídricos, especialmente cantidad y distribución de las lluvias.

El análisis se realiza desde el mes de diciembre hasta el mes de mayo, periodo que corresponde a las fechas de cultivo de maíz en Loja, utilizando para ello el diseño del reservorio.

Sin embargo, la alternativa para recoger agua de los techos de la vivienda se conceptualiza en la Grafica 46.

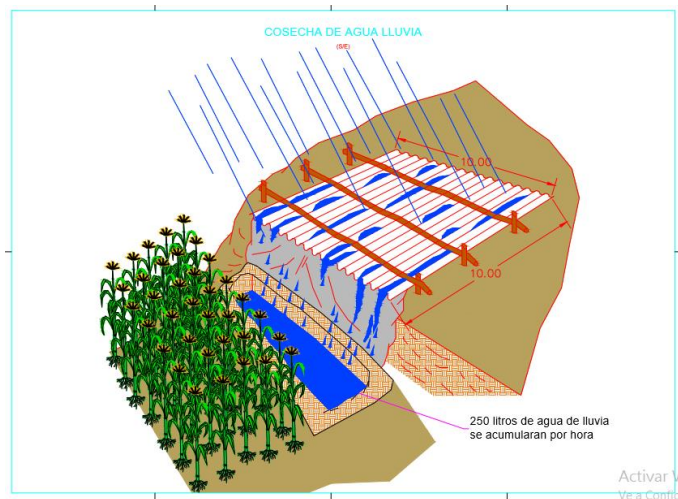


Gráfico 46. Captación de agua lluvia sin presencia de techos
Elaborado por: el autor.

4.1.11. Relación superficie cultivada – área de captación

Según, la metodología de cálculo de la FAO, es su denominada CAP/CULT, el cálculo de agua a almacenar se realiza por el déficit de cada decadal de producción de los cultivos, de esta manera se desarrolla la Tabla 30. Considerando ese análisis y los datos obtenidos en la ETc por Pennan Monteith y la precipitación efectiva calculada, el déficit debe ser remplazado por mm de agua almacenados. Considerando que por cada mm de agua requerida implica $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ el área aproximada que se requiere embalsar para las 5 ha promedio por productor es de 1.0 ha y con eso se garantiza la producción. En la tabla siguiente se puede observar los resultados.

Tabla 29. Cálculos de Área CAP-CULT

Fechas	Día de siembra	Lluvia de diseño	ETc	ETc - lluvia	Déficit
Mes	día	mm/10 días	mm/10 días	mm/10 días	mm/10 días
Diciembre	0 - 10	28.6			
	12 - 20.	20.2			
	22 - 31.	62.5			
Enero	0 - 10	3.1	47.8	-46.1	-46.1
	12 - 20.	13.3	48.0	-36.0	-36.0
	22 - 31.	34.2	53.2	-10.1	-10.1
Febrero	0 - 10	54.2	49.2	4.1	0
	11 - 20.	127.5	49.3	78.2	0
	21 - 28.	62.4	44.3	8.0	0
Marzo	0 - 10	139.5	50.1	90.1	0
	11 - 20.	130.9	49.3	82.3	0
	21 - 31.	254.5	54.4	206.5	0
Abril	0 - 10	75.3	49.4	27.7	0
	11 - 20.	35.9	48.6	-454.4	-454.4
	21 - 31.	10.5	48.0	10.5	0
Mayo	0 - 10	2.5	47.6	2.5	0

Elaborado por: el autor.

Debido a la orografía accidentada de Loja, para este ejercicio existen grandes extensiones en los territorios que permiten realizar este tipo de estructuras, tal como se muestra en la Gráfica 47.

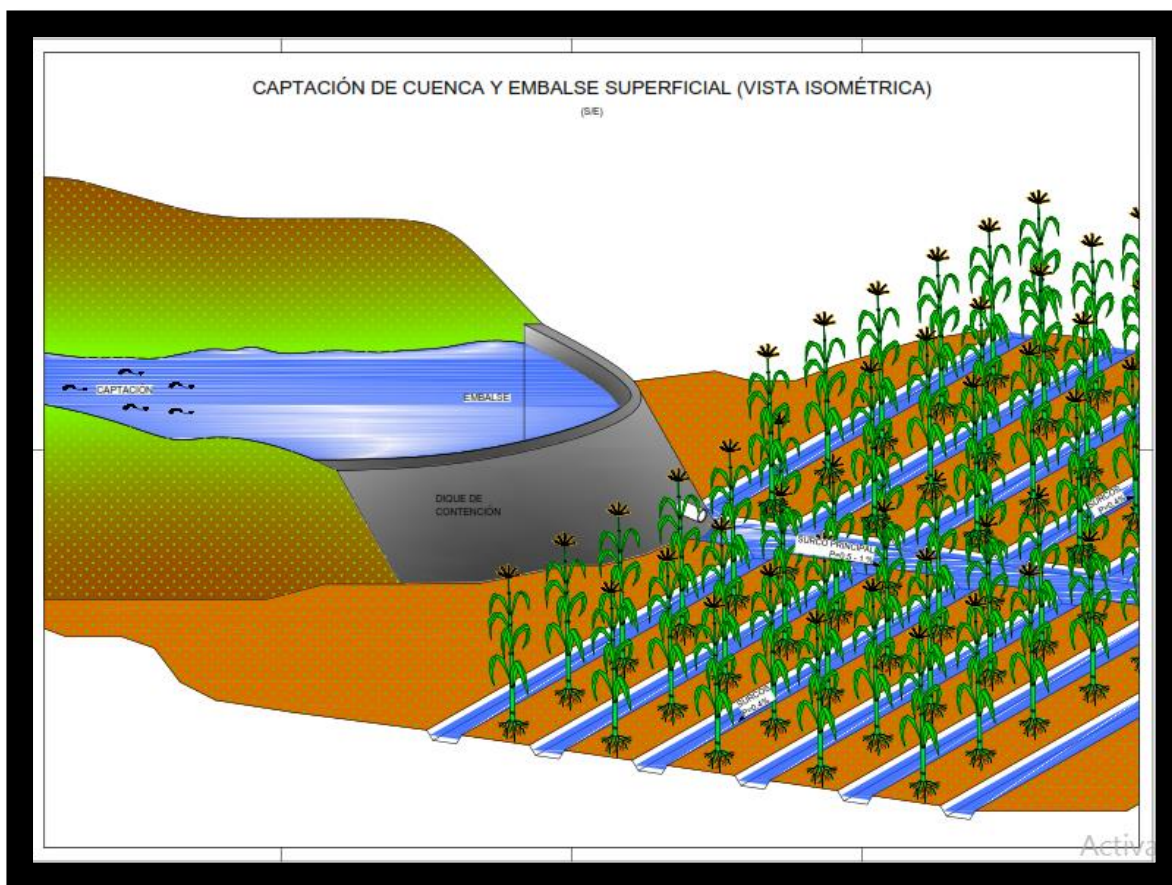


Gráfico 47. Captación y embalse superficial.
Elaborado por: el autor.

La vista en perfil de dicha estructura se muestra a continuación:

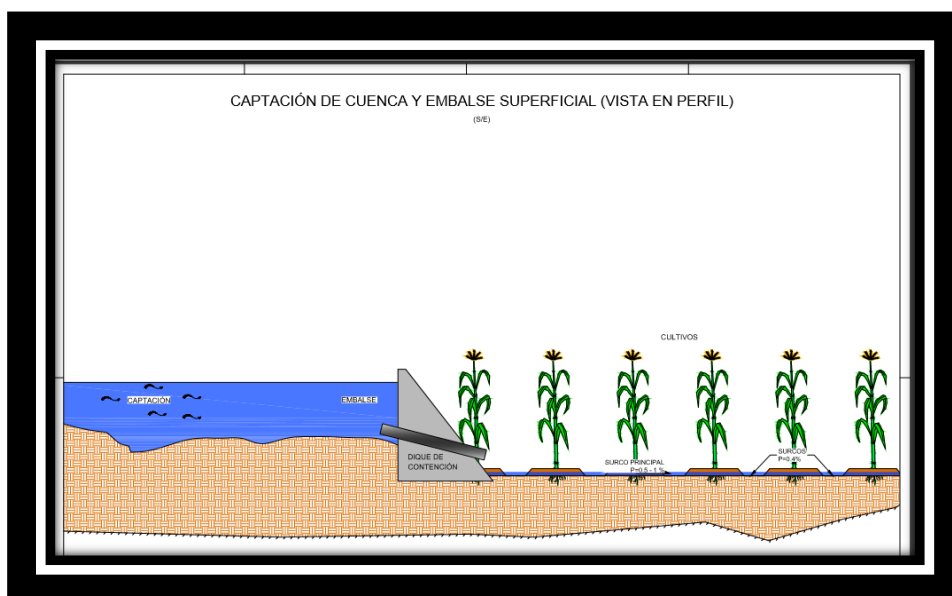


Gráfico 48. Captación Cuenca y embalse (perfil).
Elaborado por: el autor.

4.1.12. Estructuras de captación de agua mediante terrazas

Estas estructuras son usadas principalmente para frutales en zonas con régimen hídrico bajo. Consisten en almacenar cerca de la planta la cantidad de agua para cubrir las necesidades hídricas de la planta durante su ciclo hidrológico. Esta alternativa puede ser muy efectiva para plantaciones pequeñas con la finalidad de garantizar la seguridad alimentaria.

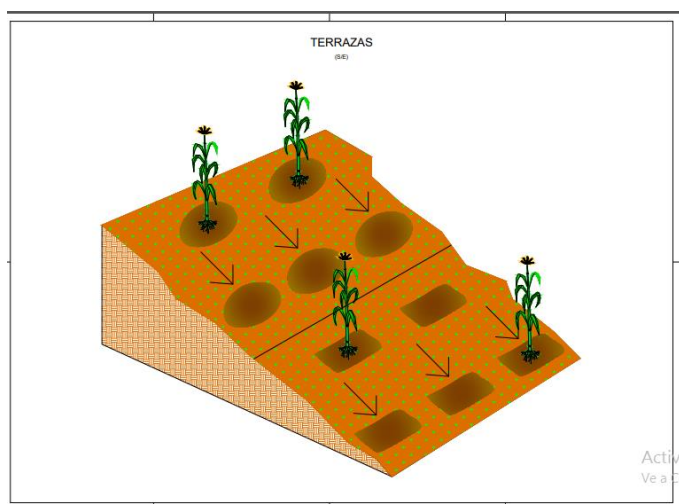


Gráfico 49. Captación de agua mediante terrazas
Elaborado por: el autor.

Como se puede observar, el agua se almacena tras la escorrentía del agua que escurre por la pendiente del terreno hasta acumularse en la terraza.

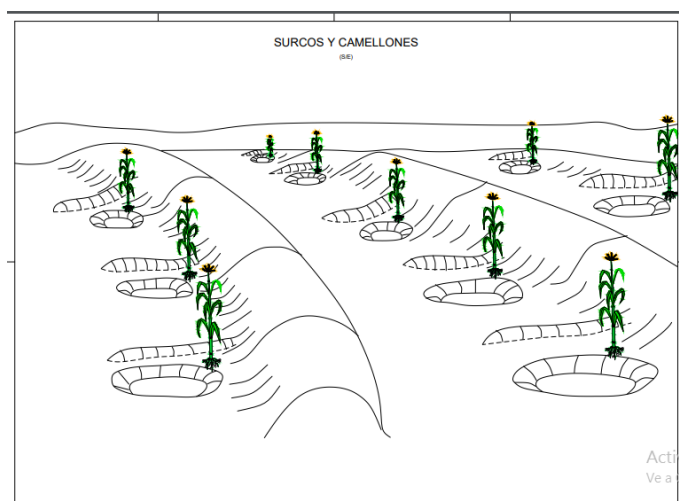


Gráfico 50. Captación de agua mediante terrazas perfil
Elaborado por: el autor.

Como se muestra en el Gráfico 49, la intención es que cada planta posea su propio almacenamiento de agua que alimente la zona radicular, mas no el cuello de la planta, para evitar daños por enfermedades. Por ser una tarea laboriosa, puede ser usada de mejor manera para espacios de soberanía alimentaria.

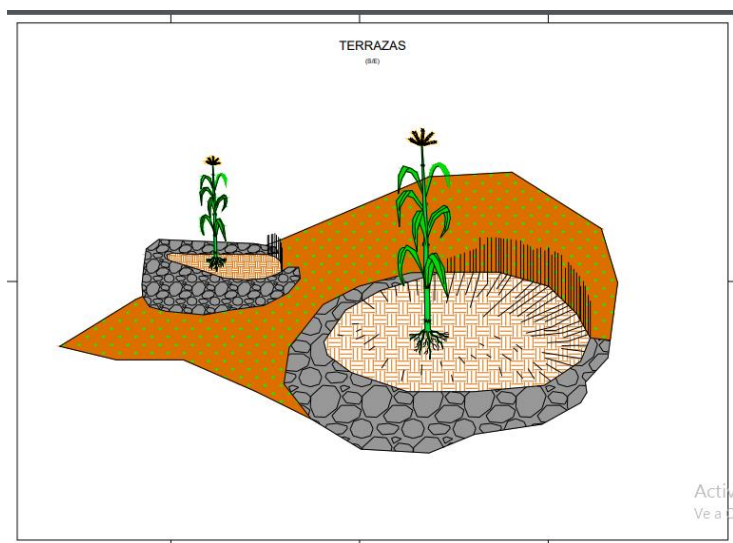


Gráfico 51. Captación con pendientes pronunciadas
Elaborado por: el autor.

En los sectores en donde la pendiente es pronunciada, se recomienda usar el esquema del Gráfico 51, en el que se colocan estructuras que permitan asegurar la acumulación de agua. La terraza cambia la pendiente natural y favorece la infiltración, reduciendo escorrentía.

5. Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo de investigación permitió obtener las siguientes conclusiones.

1. La zona maicera de Loja orográficamente posee características diversas al resto del país. La situación de frontera con el Perú y la influencia del desierto de Sechura producen cambios atmosféricos complejos que dan paso a la aparición de una muy interesante diversidad vegetal y animal, pero que generan implacables condiciones de sequía, cuya frecuencia es de 7 años, con precipitaciones nulas similar al fenómeno de La Niña. Las tendencias son al incremento en intensidades de precipitación con un comportamiento unimodal muy marcado, con presencia de lluvias de manera piramidal entre enero y mayo. Posteriormente inicia una época seca muy marcada con altas temperaturas y cero precipitación.
2. Las fechas más óptimas de siembra son los diez primeros días de enero que coinciden con el mejor precio de mercado, sin embargo, la fecha de siembra más común entre los productores es febrero. Sembrar en febrero reduce el riesgo de exposición a décadas secas que ocurren frecuentemente en el mes de enero y que pueden ocasionar pérdidas totales de cultivo en la etapa de germinación, emergencia y desarrollo vegetativo temprano.
3. La mejor opción para reducir incertidumbre en los rendimientos y estabilizar los ingresos de los productores es el riego complementario, a través de la implementación de cosechas de agua lluvia.

6. Recomendaciones

- Es oportuno que se desarrolle una investigación con un productor determinando, que según los resultados por décadas de esta investigación pueda determinar la capacidad óptima de los reservorios para cubrir los veranillos en el mes de enero y asegurar la cosecha.
- Realizar un investigación analizando económicamente los volúmenes de almacenamiento adecuados y la rentabilidad de los mismos ante los productores considerando reservorios asociativos y economías a escala
- Realizar un análisis económico de los costos de producción por re-siembra del maíz y la combinación entre sembrar en enero y febrero, generado un modelo matemático para optimizar el modelamiento de cultivos con un modelamiento de ingresos.
- Socializar este trabajo con las autoridades locales y asociaciones de productores, a través de parcelas demostrativas y capacitaciones enfocadas a la adopción de esta tecnología.
- Analizar opciones de producción en zonas áridas como: coberturas vegetales y zanjas de infiltración.

7. Bibliografía

- Agroseguros, M. . (2018). *Levantamiento de información del Seguro Agrícola Ecuador*. Quito: Ministerio de Agricultura y Ganadería.
- Allen, R. G., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje, 56, FAO, Roma.
- Baca, L. A. (2016). La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria. *Tesis de grado para la obtención del título de economista*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Barros, J., & Troncoso, A. (2010). *Atlas Climatológico del Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Basso, B., Liu, L., & Ritchie, J. (2016). A comprehensive review of the CERES-wheat, -maize, and -rice models' performances. *Advances in Agronomy*, 136, 27-132.
- Becerra-Soariano, R., & Gutierrez-López, A. (2006). Fifth FRIEND World Conference . *Modelación hidrológica empleando isoyetas de relieve, una aproximación geoestadística* . La Habana: IAHS Press.
- BENDAÑA GARCIA, G. (2012). *AGUA, AGRICULTURA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA EN LAS ZONAS SECAS DE NICARAGUA*. Nicaragua: ISBN 978-99964-0-136-7.
- Calera, A., Campos, I., & Garrido-Rubio, J. (noviembre 2016). Determinación de las necesidades de agua y de riego mediante estaciones meteorológicas y series temporales de imágenes multiespectrales. *Jornada técnica de innovación en gestión del regadío mediante redes agroclimáticas, teledetección y sistemas de información*. .
- Castellanos, D. (31 de julio de 2013). *Ecuador: Sequía deja agricultores con dificultades financieras*. Obtenido de IFRC (Federación Internacional de Cruz la Roja): <https://www.ifrc.org/es/noticias/noticias/americas/ecuador/ecuador-sequia-deja-agricultores-con-dificultades-financieras/>
- CEPAL. (2016). *Informe de Evaluación de Impactos del Fenómeno del Niño 2015-2016*. CEPAL.
- Cisneros Iturbe, H. L., Bouvier, C., & Domínguez Mora, R. (2001). Aplicación del método kriging en la construcción de campos de tormenta en la ciudad de México. *Tecnologías y Ciencias del Agua*, 16(3).
- Clemente, M., Rodrigo, C., Sosa Ramírez, J., Maass Moreno, M., Ruíz, L., de Jesús, J., & Flores, E. (2015). Comparación de métodos para estimar disponibilidad hídrica en cuencas forestales. *Terra Latinoamericana*, 17-26.
- CONGOPE. (2016). *Estatuto del Consorcio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador* . CONGOPE, Quito.

- Chavarri, E. (2004). *Evapotranspiración -Clase VII*. Universidad Nacional Agraria La Molina , Departamento de Recursos de Agua y Tierra.
- Chow, V., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. Bogotá: Mc Graw-Hill.
- Dagguin Aguilar, D. Á. (2016). *Informe de resultados. Estimación de superficie sembrada de arroz (oryza sativa l.), maíz amarillo duro (zea mays l.) y soya (glycine max) del primer período (época lluviosa) año 2018, en las provincias de: Guayas, Los Ríos, Manabí, Santa Elena, Loja y El Oro*. . Ministerio de Agricultura y Ganadería. Quito - Ecuador: MAG.
- Demin, P. (2014). Calibración de la ecuación de Hargreaves para la determinación de la evapotranspiración de referencia en el Valle Central de Catamarca. *Revista de Climatología*, 63-69.
- Devendra, C. (abril de 2016). Rainfed agriculture: its importance and potential in global food security. *journal Agriculture Science, JAS*, 2(2).
- El Diario. (17 de Junio de 2019). *Maíz se paga hasta \$ 9,90 el quintal: El Diario*. Obtenido de El Diario: <http://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/504720-maiz-se-paga-hasta-990-el-quintal/>
- El-Shirbeny, M., Saleh, N., & Abdelraouf, A. (1 de noviembre de 2014). Estimation of Potential Crop Evapotranspiration Using Remote Sensing Techniques. *10th International Conference of AARSE*.
- Esparza, M. (2013). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. *Instituto de Investigaciones Dr. José María Luis Mora.*, 27.
- Esparza, M. (mayo-agosto de 2014). La sequía y la escasez de agua en México. Situación actual y perspectivas futuras. *Secuencia* (89), 195-219.
- FAO. (1978). *El Estado mundial de la agricultura y la alimentación*. ONU.
- FAO. (2000). *Manual de Captación de Agua de Lluvia. Experiencias para América Latina*. RLCA/FAO, Santiago de Chile.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo, Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma, Italia: <https://doi.org/10.1590/198340632015v4529143>.
- FAO. (2017). *AquaCrop, el modelo de productividad del agua de los cultivos*. FAO. Roma: FAO.
- FAO. (Abril de 2013). *Captación y almacenamiento de agua lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile, Chile: FAO.
- Federación Internacional de la Cruz Roja. (31 de julio de 2013). *Ecuador: Sequía deja agricultores con dificultades financieras: IFRC*. Obtenido de IFRC: <https://www.ifrc.org/es/noticias/noticias/americas/ecuador/ecuador-sequia-deja-agricultores-con-dificultades-financieras/>

- Federación Internacional de la Cruz Roja. (6 de agosto de 2019). *Sequía: Federación Internacional de la Cruz Roja*. Obtenido de Federación Internacional de la Cruz Roja: <https://www.ifrc.org/es/introduccion/disaster-management/sobre-desastres/definicion--de-peligro/sequias/>
- Flores Gallardo, H. (junio de 2013). Simulación del rendimiento de Maíz (*Zea mays* L.) en el norte de Sinaloa usando el modelo Aquacrop. *Agrociencia*, 47(4), 347-359.
- Gobierno de México. (29 de agosto de 2019). *Gobierno de México: Categorías de Sequía*. Obtenido de Gobierno de México: <https://smn.conagua.gob.mx/es/categorias-de-sequia>
- Guacho, E. (2014). *CARACTERIZACIÓN AGRO-MORFOLOGICA DEL MAÍZ (Zea mays L.) DE LA LOCALIDAD SAN JOSÉ DE CHAZO*. Riobamba: Escuela de Ingeniería Agronómica.
- Hargreaves, G., & Samani, Z. (1985). *Crop Evapotranspiration from Temperature*.
- Hernández, C. F. (2015). *Situación Agraria y Desarrollo de Loja*. Loja - Ecuador: Casa de la Cultura de Loja.
- Hidalgo Proaño, M. (2017). Variabilidad climática interanual sobre el Ecuador asociada a ENOS . *Ciencia América*, 6.
- Hodd, M. (1998). *East África Handbook: With Kenya, Tanzania, Uganda and Ethiopia*. Passport Books.
- Hogan, M. (2010). Abiotic Factor. *Encyclopedia of Earth. National Council for Science and the Environment, Washington DC*.
- INEC. (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) CENSO 2010*. Quito - Ecuador: INEC.
- INEC. (2012). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua*. INEC. Quito: INEC.
- INEC. (2016). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC*. Quito: INEC.
- INERHI; PREDESUR; CONADE. (1994). *Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. Washington D.C.: Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos.
- Instituto Geográfico Nacional de España. (sf). *Evotranspiración Potencial (ETP) Media Anual*. Instituto Geográfico Nacional de España, Gobierno de España. Madrid: Centro Nacional de Información Geográfica.
- Izzard, C. (1946). Hydraulics of Runoff from Developed Surfaces. *Proceedings of the Twenty-Sixth Annual Meeting of the Highway Research*, (págs. 129 – 146). Washington.
- Linsley, R., Kohler, M., & Paulhus, J. (1988). *Hidrología para ingenieros*. México DF: Mc Graw-Hill Latinoamericana.
- Loaiza, W., Carvajal, Y., & Baquero, O. (2015). Índice estandarizado de precipitación (SPI) para la caracterización de sequías meteorológicas en la cuenca del río Dagua-Colombia. *Estudios Geográficos*, 76(279), 557-578.

- Loyer, J., Estrada, J., Jasso, R., & Moreno, L. (1993). *Estudio de los factores que influncian los escurrimientos y el uso del agua en la región hidrológica 36*. México, México: Ediciones INIFAP CENID RASPA y el ORTSOM.
- Maldonado Astudillo, N. (2005). *Escenario Natural de la Cultura de Loja*. Ecuador: Casa de la Cultura Ecuatoriana "Benjamín Carrión" Núcleo de Loja.
- Maldonado, N. (2005). *El clima de Loja: Rasgos Generales, Loja, Ecuador*. Loja: Casa de la Cultura Ecuatoriana, Núcleo de Loja, Consejo Nacional de Cultura (Fonocultura).
- Malo, M. E. (2013). *Muralismo en Loja, Ecuador Tomo 1*. Loja - Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Marini, F., Santamaría, M., Oricchio, P., Di Bella, C., & Basualdo, A. (2017). Estimación de evapotranspiración real (ETR) y de evapotranspiración potencial (ETP) en el sudoeste bonaerense (Argentina) a partir de imágenes MODIS. *Teledetección* (48), 29-41.
- McKnight, T., & Hess, D. (2000). *Climate Zones and Types*. New Jersey: Prentice Hall.
- Midmore, D. (2010). Rainfed Agriculture: Unlocking the Potential. Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. *Experimental Agriculture*, 46(1).
- Ministerio de Agricultura. (2012). *Plan Nacional de Riego y Drenaje*. Loja: Ministerio de Agricultura.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería -MAG. (2015). *Metodología para la zonificación agroecológica de cultivos en condiciones naturales en el Ecuador*. Quito, Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador.
- Montecinos, A. (enero de 2015). Variabilidad climática interdecadal en el Pacífico. *Generación de Modelos Climáticos para el pronóstico de la ocurrencia del fenómeno del niño*, 2(1).
- Moreno, J. Y. (octubre, 2018). Soils from the Highlands. En J. Espinosa, J. Moreno , & G. Bernal , *The Soils of Ecuador* (págs. 79-111). Springer.
- Municipio de Loja. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*. Municipio de Loja, Loja.
- Organización Meteorológica Mundial. (2016). *Vigilancia y alerta temprana de la sequía. Conceptos, progresos y desafíos futuros*. Organización Meteorológica Mundial. OMM.
- Ospina, P., Andrade, D., Castro, S., Chiriboga, M., Hollenstein, P., Larrea, C., . . . Rodríguez, L. (2011). *Dinámicas económicas territoriales en Loja, Ecuador: ¿crecimiento sustentable o pasajero?* Santiago, Chile., Chile: Documento de Trabajo N° 76. Programa Dinámicas Territoriales Rurales. Rimisp.
- Pizzaro, R., Ramírez, C., & Flores, J. (2003). *Análisis comparativo de cinco métodos para la estimación de precipitaciones areales anuales en períodos extremos*.
- Pogo, C. (29 de Diciembre de 2018). Producción en la zona maicera de Loja. (C. D. Freire Serrano, Entrevistador)

- Pogo, M. (29 de Dic de 2018). Entrevistas Zona Maicera de Loja. (C. D. Freire Serrano, Entrevistador)
- PPRD, G. (2013). *Plan Provincial de Riego y Drenaje de Loja*. Loja - Ecuador.
- Prefectura de Loja. (2013). *Plan Provincial de Riego y Drenaje*, PPRD. Prefectura de Loja, Loja.
- Ramalhosa, F., & Minkel, C. W. (2003). *Características de la Migración en la Provincia de Loja, Ecuador*. Loja - Ecuador: Universidad de Tennessee.
- Reddy, R., & Syme, G. (2015). *Integrated assessment of scale impacts of watershed intervention: assessing hydrogeological and bio-physical influences on livelihoods*. Amsterdam, Holanda: Elsevier Inc.
- Rivera del Río, R., Crespo, G., Arteaga, R., & Quevedo, A. (2007). Comportamiento espacio temporal de la sequía en el Estado de Durango, México. *Terra Latinoamericana*, 383-392.
- Sánchez Martínez, M., & Carvacho Bart, L. (2011). Comparación de ecuaciones empíricas para el cálculo de la evapotranspiración de referencia en la Región del Libertador General Bernardo O'Higgins, Chile. *Revista de Geografía Norte Grande* (50), 171-186.
- Sánchez, M. (1992). *Métodos para el estudio de la evaporación y evapotranspiración*. Logroño, España: Geoforma Ediciones. Obtenido de [www.geomorfologia.es/sites/default/files/Cuadernos técnicos de la SEG no 3.pdf](http://www.geomorfologia.es/sites/default/files/Cuadernos_técnicos_de_la_SEG_no_3.pdf)
- Sharma, B., Rao, K., Vittal, K., Ramakrishna, Y., & Amarasinghe, U. (Enero de 2010). Estimating the potential of rainfed agriculture in India: Prospects for water productivity improvements. *Agricultural Water Management*, 97(1), 23-30.
- Steduto, P., Hsiao, T., Raes, D., & Fereres, E. (1 de mayo de 2009). AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437.
- Steduto, P., Hsiao, T., Raes, D., & Fereres, E. (1 de mayo de 2009). AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal* 3, 101(3), 426-437.
- Subsecretaría de Riego y Drenaje. (Diciembre de diciembre 2019). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027*. Secretaría del Agua.
- Valiente, Ó. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas*, 26, 59-80.
- Wilhite, D., & Glantz, M. (1985). Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 111-120.
- Yanangómez, L., & Reinoso Acaro, M. (2018). Evaluación del requerimiento hídrico del cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en la parroquia Malacatos sector "San José". *Universidad Nacional de Loja*, 56-57.

