



UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
SISTEMA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA DEL
ECUADOR

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN RIEGO Y DRENAJE
TRABAJO DE TITULACIÓN COMO REQUISITO PREVIO PARA LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN RIEGO Y DRENAJE

DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DEL SISTEMA DE
RIEGO MILAGRO MARISCAL SUCRE, PROVINCIA DEL
GUAYAS, ECUADOR.

ING. AGR. PEDRO VICENTE GORDILLO PALLAZHCO

GUAYAQUIL - ECUADOR

2021

SISTEMA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR

CERTIFICACIÓN

Yo: **Ing. Armando Vega Rivero, PhD**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de director,

CERTIFICO QUE:

He revisado el Trabajo de Titulación, Titulado: **DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DEL SISTEMA DE RIEGO MILAGRO MARISCAL SUCRE. PROVINCIA DE GUAYAS, ECUADOR**, el misma que ha sido elaborado y presentado por el estudiante: **Ing. Agr. Pedro Vicente Gordillo Pallazhco**; el cual cumple con los requisitos técnicos y legales exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador para este tipo de estudios.

Atentamente,

Ing. Armando Vega Rivero, PhD.

Guayaquil, 9 de abril de 2021

**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
SISTEMA DE POSTGRADO UNIVERSIDAD AGRARIA DEL
ECUADOR**

TEMA

**DETERMINACIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA DEL SISTEMA DE
RIEGO MILAGRO MARISCAL SUCRE. PROVINCIA DEL GUAYAS,
ECUADOR.**

AUTOR

ING. AGR. PEDRO VICENTE GORDILLO PALLAZHCO

TRABAJO DE TITULACIÓN

**APROBADA Y PRESENTADA AL CONSEJO DE POSTGRADO
COMO REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

**Ing. Fanny Rodríguez Jarama M.Sc.
PRESIDENTE**

**Ing. Armando Vega Rivero, PhD.
EXAMINADOR PRINCIPAL**

**Ing. Kleber Calle Romero M.Sc.
EXAMINADOR PRINCIPAL**

AGRADECIMIENTOS

Mi profundo agradecimiento al Padre Eterno Jehová por permitirme concluir con éxito el trabajo de titulación para optar por el título de MAGÍSTER SCIENTIAE EN RIEGO Y DRENAJE;

A la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, por la oportunidad de especializarme en el área de riego y drenaje;

Al director del Trabajo de Titulación, Ing. Armando Vega Rivero, PhD, por su paciencia y aporte invaluable en la realización exitosa de esta investigación;

A la Lcda., Beatriz Bucaram de Amador, por todas las gestiones administrativas que realizó desde el departamento del voluntariado de la UAE.

A la Directiva de la Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Milagro – Mariscal Sucre, por facilitarme el acceso a la infraestructura bajo su administración para el desarrollar normal del estudio; y,

Al Ing, Agr. Jacinto Soria, ex administrador de la Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Milagro – Mariscal Sucre por su ayuda con información fundamental para este trabajo.

DEDICATORIA

Al Padre Eterno Jehová por las bendiciones recibidas cada día de mi vida;

A mis padres por su gran apoyo en cada etapa de mi vida; y,

A la Universidad Agraria del Ecuador por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y profesionales productivos para la sociedad.

RESPONSABILIDAD

La responsabilidad, derecho de la investigación, resultados, conclusiones y recomendaciones que se demuestran en el presente trabajo de titulación corresponde exclusivamente al Autor y los derechos académicos otorgados a la Universidad Agraria del Ecuador.

Ing. Agr. Pedro Vicente Gordillo Pallazhco

C.I. 0918150350

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la oferta hídrica de los principales cultivos del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre, que están ubicado entre los cantones Milagro y Naranjito de la provincia del Guayas. Para el análisis de la línea base, se desarrolló el diagnóstico mediante el levantamiento de la información para la caracterización la situación actual del sistema de riego en su infraestructura general, condiciones agroclimáticas, edáficos y el área bajo riego por cada cultivo, y con esta información se realizó la estimación del uso consuntivo de los principales cultivos de toda el área de influencia. Para el mes de septiembre se halló la máxima demanda hídrica global de $9.63 \text{ m}^3/\text{s}$ y la oferta hídrica del sistema de riego es $12.58 \text{ m}^3/\text{s}$, en el contraste del resultado de la oferta hídrica y el uso consuntivo global del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre, se evidencio que la oferta de agua es mayor en un 30.63% ($2.95 \text{ m}^3/\text{s}$), con respecto a la máxima demanda hídrica del mes de septiembre.

Palabras claves: Oferta hídrica, uso consuntivo, coeficiente K_c , cultivos, sistema de riego.

SUMMARY

The objective of the research was to determine the water supply of the main crops of the Milagro Mariscal Sucre irrigation system, which are located between the Milagro and Naranjito cantons of the Guayas province. For the analysis of the baseline, the diagnosis was developed by gathering information to characterize the current situation of the irrigation system in its general infrastructure, agroclimatic and edaphic conditions and the area under irrigation for each crop, and with this information The consumptive use of the main crops of the entire area of influence was estimated. For the month of September, the maximum global water demand of 9.63 m³ / s was found and the water supply of the irrigation system is 12.58 m³/s, in contrast to the result of the water supply and the global consumptive use of the Milagro Mariscal irrigation system Sucre, it was evidenced that the Milagro Mariscal Sucre irrigation system (channel C, D-1, D-2 and M) are offering 30.63% (2.95 m³/ s) more water, with respect to the maximum water demand of the month of September.

Keywords: Water supply, consumptive use, Kc coefficient, crops, irrigation system.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	1
Caracterización del Tema	2
Planteamiento de la Situación Problemática	2
Justificación e Importancia del Estudio	3
Delimitación del Problema.....	3
Formulación del Problema	3
Objetivos	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
Hipótesis.....	4
Aporte Teórico.....	4
Aplicación Práctica	4
CAPÍTULO 1	5
MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Estado del Arte.....	5
1.2 Bases Científicas y Teóricas de la Temática.....	11
1.2.1 Oferta hídrica.....	11
1.2.2 Canal de riego	12
1.2.2.1 Aforo del caudal de riego.....	13
1.2.2.1.1 Métodos de aforos.....	13
1.2.3 Uso consuntivo.....	14
1.2.3.1 Evaporación	14
1.2.3.2 Transpiración.....	15
1.2.3.3 Radiación solar.....	16
1.2.3.4 Humedad relativa del aire.....	17
1.2.3.5 Velocidad del viento.....	17
1.2.3.6 Temperatura.....	18
1.2.3.7 Evapotranspiración (ET).....	19
1.2.3.8 Evapotranspiración Potencial (ETP).....	19
1.2.3.9 Evapotranspiración real.....	20
1.2.3.10 Evapotranspiración de Referencia (ETo).....	21
1.2.3.11 Coeficiente del Cultivo (Kc).....	21
1.2.3.11.1 Etapas de crecimiento del cultivo.....	22
1.2.3.12 Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	24
1.2.4 Balance hídrico.....	24
1.2.5 Riego	24
1.2.5.1 Importancia del riego.....	24

1.2.5.2 Métodos de riego.....	25
1.2.6 Cultivo predominante del área de influencia.....	27
1.2.6.1 Cultivos de banano.....	27
1.2.6.2 Cultivos de caña de azúcar.....	28
1.2.6.3 Cultivos de cacao.....	28
1.2.6.4 Cultivos de maíz.....	29
1.2.6.5 Cultivos de arroz.....	29
1.2.6.6 Cultivo de plátano.....	30
1.3 Fundamentación Legal.....	30
CAPITULO 2	31
ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	31
2.1 Métodos.....	31
2.1.1 Modalidad y Tipo de Investigación.....	32
2.2 Variables.....	36
2.2.1 Variables Independientes.....	36
2.2.2 Variable Dependiente.....	36
2.2.3 Operacionalización de las variables.....	37
2.3 Población y Muestra.....	38
2.3.1 Población.....	38
2.3.2 Muestra.....	38
2.4 Técnica de recolección de datos.....	38
2.5 Estadística descriptiva e inferencial.....	39
2.6 Cronograma de actividades.....	40
RESULTADOS.....	41
3.1 Línea base del estudio.....	41
3.1.1 Ubicación geográfica del estudio.....	41
3.1.2 Clasificación Ecológica.....	41
3.1.3 Características del sistema de riego.....	42
3.1.4 Técnicas de riego.....	43
3.1.5 Red de canales del sistema de riego.....	43
3.1.6 Zonas de riego.....	44
3.1.7 Diagnóstico biofísico.....	45
3.1.7.1 Geología.....	45
3.1.7.2 Geomorfología.....	45
3.1.7.3 Topografía.....	46
3.1.7.4 Hidrología.....	47
3.1.7.5 Suelo y relieve en el área de influencia.....	47
3.1.7.6 Balance hídrico de la zona de estudio.....	51
3.1.7.7 Uso y cobertura del suelo.....	52

3.1.7.8 Clima	54
3.1.7.8.1 Mapa de precipitación anual.....	54
3.1.7.8.2 Precipitación.....	55
3.1.7.8.3 Temperatura.....	57
3.1.7.8.4 Mapa isotérmico.....	58
3.1.7.8.5 Humedad relativa	59
3.1.7.8.6 La heliofanía.....	59
3.1.7.8.7 Viento	60
3.1.8 Diagnóstico socioeconómico.....	61
3.2 Determinación de la oferta hídrica del sistema de riego.....	63
3.2.1 Caudal del canal de riego C.....	63
3.2.2 Caudal del canal de riego D- 1	64
3.2.3 Caudal del canal de riego D- 2	65
3.2.4 Caudal del canal de riego M-1.....	66
3.2.5 Caudal del canal de riego M-1-1	66
3.2.6 Caudal del canal de riego M-1-2	67
3.3 Estimación del uso consuntivo para los cultivos de la zona de estudio.....	69
3.3.1 Evapotranspiración de referencia (ET _o).....	69
3.3.2 Precipitación efectiva (mm).....	70
3.3.3 Coeficiente de cultivo (K _c)	71
3.3.3.1 Coeficiente único (K _c) teórico de los principales cultivos	71
3.3.3.2 Coeficiente K _c ajustado.....	72
3.3.4 Humedad aprovechable total de suelo (mm/m)	73
3.4 Contrastar la oferta hídrica y el uso consuntivo.....	77
DISCUSIÓN	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA CITADA	84
ANEXOS	91
APÉNDICE	92

ANEXOS

Anexo N° 1. Especificación técnica del molinete Global Water.....	91
---	----

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N° 1. Superficie por zonas de riego y usuarios.....	44
Gráfico N° 2. Precipitación histórica anual del área de estudio (1965-2015).....	55
Gráfico N° 3. Variación de la precipitación mensual en el área de estudio (1965-2014).....	56
Gráfico N° 4. Temperatura promedio mensual (1965-2014) de la estación Milagro M0037.....	57
Gráfico N° 5. Temperatura promedio anual (1965-2014) de la estación meteorológica Milagro Valdez (M0037).....	57
Gráfico N° 6. Humedad relativa mensual del área de estudio (1965-2014).....	59
Gráfico N° 7. Heliofanía mensual del área de estudio (1965-2014).....	59
Gráfico N° 8. Velocidad del viento mensual en el área de estudio (1965-2014).....	60
Gráfico N° 9. Población económicamente activa (PEA) en la zona de estudio por sexo.....	61
Gráfico N° 10: Sección transversal del canal principal C.....	63
Gráfico N° 11: Sección transversal del canal D-1.....	64
Gráfico N° 12: Sección transversal del canal D-2.....	65
Gráfico N° 13: Sección transversal del canal M-1.....	66
Gráfico N° 14: Sección transversal del canal M-1-1.....	67
Gráfico N° 15: Sección transversal del canal M-1-2.....	67
Gráfico N° 16: Evapotranspiración de referencia (ET _o) por el método de Penman-Monteith.....	69
Gráfico N° 17: Precipitación (mm) en el área de estudio.....	70
Gráfico N° 18: Máxima necesidad hídrica del sistema de riego (m ³ /s).....	75
Gráfico N°19: Oferta hídrica y uso consuntivo para el mes de septiembre de máxima sequía.....	77

Gráfico N° 20. Disponibilidad de agua por mes en m ³ /s del río Chimbo (1965-2014).	122
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Juntas modulares del sistema de riego Milagro.....	44
Tabla N° 2. Textura del suelo de la zona de estudio.	49
Tabla N° 3. Principales cultivos en la zona de estudio.	53
Tabla N° 4. Kc teórico del cultivo (FAO56) y altura máxima (<i>m</i>).	71
Tabla N° 5. Etapa de crecimiento del cultivo	71
Tabla N° 6. Profundidad radicular efectiva del cultivo (m).....	72
Tabla N° 7. Coeficiente de cultivo (Kc) ajustado con parámetro local.	72
Tabla N° 8. Factor de respuesta de la productividad del cultivo (Ky)	74
Tabla N° 9. Uso consuntivo para el ciclo del patrón del cultivo (m ³ /s).	76
Tabla N° 10. Superficie bajo riego en junta modular Supaypungo por cada canal ..	92
Tabla N° 11. Superficie bajo riego en junta modular Naranjito y Manantial por cada canal.....	92
Tabla N° 12. Superficie bajo riego en junta modular María Isabel por cada canal ..	92
Tabla N° 13. Superficie bajo riego en junta modular Galápagos, Chaparral y Vuelta del Piano por cada canal.....	93
Tabla N° 14. Superficie bajo riego en junta modular América Pérez y Mariscal Sucre por cada canal.....	93
Tabla N° 15. Superficie bajo riego en junta modular Río Milagro, Palmares, La Libertad y Atahualpa por cada canal	94
Tabla N° 16. Superficie bajo riego en junta modular María Mercedes por cada canal	94
Tabla N° 17. Factor de eficiencias del sistema de riego San Jacinto.	94
Tabla N° 18. Evapotranspiración de referencia (ET _o) del área de estudio.....	96
Tabla N° 19. Velocidad promedio del canal C	97
Tabla N° 20. Velocidad promedio del canal D-1	98
Tabla N° 21. Velocidad promedio del canal D-2.....	99
Tabla N° 22. Velocidad promedio del canal M-1	101
Tabla N° 23. Velocidad promedio del canal M-1-1	102

Tabla N° 24. Velocidad promedio del canal M-1-2	103
Tabla N° 25. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de caña de azúcar.	110
Tabla N° 26. Requerimiento hídrico total para el cultivo de caña de azúcar	111
Tabla N° 27. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de cacao.....	112
Tabla N° 28. Requerimiento hídrico total para el cultivo de cacao.	113
Tabla N° 29. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de banano.....	114
Tabla N° 30. Requerimiento hídrico total para el cultivo de banano.....	115
Tabla N° 31. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de caña de plátano.	116
Tabla N° 32. Requerimiento hídrico total para el cultivo de plátano.	117
Tabla N° 33. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de arroz	118
Tabla N° 34. Requerimiento hídrico total para el cultivo de arroz.....	119
Tabla N° 35. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de caña de maíz	120
Tabla N° 36. Requerimiento hídrico total para el cultivo de maíz	121

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa N° 1. Ubicación Geográfica del área de estudio.....	41
Mapa N° 2. Red de canales principales, secundarios y terciarios.....	43
Mapa N° 3. Geomorfología del área del estudio.....	45
Mapa N° 4. Mapa hidrográfico de la zona de estudio	46
Mapa N° 5. Clasificación taxonómica del suelo por Orden.....	47
Mapa N° 6. Clasificación taxonómica del suelo por Gran Grupo.....	48
Mapa N° 7. Textura del suelo en la zona de estudio	49
Mapa N° 8. pH del suelo en la zona de estudio.....	50
Mapa N° 9. Cobertura del suelo en la zona de estudio.	53
Mapa N° 10. Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas.....	54
Mapa N° 11. Mapa de precipitación anual de la zona de estudio.....	55
Mapa N° 12. Mapa isotérmico de la zona de estudio.	58

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 1. Inicio del canal principal C en el río Anapoyo.....	135
Foto N° 2. Levantamiento de la sección transversal del canal de riego D-1.....	135
Foto N° 3. Levantamiento de la sección transversal del canal de riego 2-2-1 C ...	136
Foto N° 4. Aforo del canal de riego 2-2 C.....	136
Foto N° 5. Aforo del canal de riego 2-2C con el director de tesis, Armando Vega PhD.	137
Foto N° 6. Aforo del canal de riego principal 2C.....	137
Foto N° 7. Aforo del canal de riego 2-1 C.....	138
Foto N° 8. Levantamiento de la sección transversal del canal de riego principal 2 C	138
Foto N° 9. Levantamiento de la sección transversal del canal de riego M-1 y aforo.	139
Foto N° 10. Levantamiento de información y aforo del canal de riego 2-3C.....	140
Foto N° 11. Levantamiento de detalle de las compuertas en canal de riego 2-4-C 1	140
Foto N° 12. Ubicación las compuertas al final del canal San Antonio e inicio del estero Anapoyo.	141
Foto N° 13. Aforo del canal de riego 2-1C.....	141
Foto N° 14. Aforo del canal de riego 1-C.....	142
Foto N° 15. Georreferenciación las compuertas del sistema de riego ingenio San Carlos.....	142

INTRODUCCIÓN

La construcción de la infraestructura del sistema de riego fue iniciada por la Cámara Nacional de Riego en el año 1,949 y fue concluido por el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hídricos (INERHI) en el año 1,966 para satisfacer las necesidades hídricas del sector agropecuario de la zona en estudio (INAR, 2009).

De acuerdo con (DIRDRA, 2015), la superficie total del proyecto es de 20 mil hectáreas, con un área apta para riego del 80% y 1,500 familias beneficiadas.

El Sistema de Riego Milagro Mariscal Sucre, está localizado entre el Cantón Milagro y Naranjito, provincia del Guayas, formando parte de la Cuenca Hidrográfica río Guayas. El servicio de cobertura del sistema de riego está distribuido entre la zona de Naranjito, Roberto Astudillo y Lorenzo de Garaicoa. Y la ubicación geográfica corresponde a la longitud 79° 53`W y latitud 2°12`S, y la altitud es variable entre 13 a 40 m.s.n.m. (Gobierno Provincial del Guayas, 2013).

Según un informe de INERHI (1984), se indica que el sistema de riego Milagro fue diseñado para ofertar un caudal de $8.0 \text{ m}^3/\text{s}$ para satisfacer la necesidad hídrica de 8,491.00 hectáreas cultivadas con caña de azúcar, banano, maíz, cacao, café, tabaco, tomate, sandía. Estos fueron los principales cultivos que inicio el proyecto de riego Milagro y la fuente de captación está ubicado en el Río Chimbo.

Según el Instituto Nacional de riego (INAR, 2009), señala que se ha realizado mantenimiento, rehabilitación e incorporación de nueva red de canales con una intervención económica \$5'686,878.66 de dólares, y como resultado hay un incremento del 23.80% del área bajo riego, generando cambios en el patrón de cultivo en el sistema de riego Milagro Mariscal Sucre. Por esta razón se plantea el estudio, para determinar cuál es la actual oferta hídrica y el nuevo uso consuntivo de los principales cultivos del área de influencia.

El resultado de este estudio permitirá que la administración de la Junta de Riego y Drenaje Milagro Mariscal Sucre y los usuarios, además de los agricultores aledaños al sistema de riego, dispongan de información actualizada sobre el uso consuntivo de los cultivos analizados y el volumen del caudal disponible, para una adecuada planificación del riego en época de sequía en la zona de estudio.

Caracterización del Tema

El trabajo de investigación comprende una superficie de 20 mil hectáreas ubicadas entre el cantón Milagro y Naranjito, con una población de 1,500 familias productoras de caña de azúcar, cacao, banano, plátano, maíz grano y arroz. En esta área, la temporada de lluvia se extiende desde el mes de enero hasta abril y la época de verano es del mes de mayo hasta diciembre. Esta última estación tiene 8 meses de sequía, generando la necesidad de agua para el cultivo mediante riego, con el fin de garantizar una máxima producción.

Por esta razón es necesario estimar el uso consuntivo actual de los principales cultivos económicamente representativos del área de estudio, con parámetros agrometeorológicos y edáficos de la zona, además contrastar con el caudal ofertado del sistema, mediante la determinación de la capacidad de conducción hídrica por las redes de canales que dispone el sistema de riego Milagro – Mariscal Sucre.

Planteamiento de la Situación Problemática

El sistema de riego Milagro Mariscal Sucre, ha incrementado su área bajo riego en un 23.79% en los últimos 10 años y de igual manera se ha cambiado el patrón de cultivo, y paralelamente el caudal del río Chimbo presenta una tendencia a la reducción en los últimos 57 años según registro de INAMHI.

Por lo indicado en el párrafo anterior, amerita un análisis del uso consuntivo de los principales cultivos y la determinación oferta hídrica actual para una adecuada planificación y distribución del agua para riego.

Justificación e Importancia del Estudio

Por los cambios significativos que se han dado en la última década en el Sistema de riego Milagro Marisca Sucre, en cuanto al incremento del área bajo riego, cambio del patrón del cultivo, la constante reducción del caudal disponible en el río Chimbo por el deterioro de la fuente de recarga en los páramos por efectos de la deforestación, cambio climático y sedimentación de los cauces naturales.

Se justifica la gran importancia del estudio en determinar la oferta hídrica actual del sistema de riego y la estimación del uso consuntivo de los principales cultivos para el uso eficiente del recurso hídrico en la planificación y aplicación de la lámina de riego necesario para los cultivos.

Delimitación del Problema

El trabajo de investigación se lo desarrolló en el Sistema de Riego Milagro Mariscal Sucre, ubicado en la provincia del Guayas, entre los cantones Milagro y Naranjito.

Formulación del Problema

¿Cuál es la condición actual del Sistema de Riego Milagro Mariscal Sucre, en cuanto a la oferta hídrica y el uso consuntivo de los principales cultivos ya establecidos?

Objetivos

Objetivo General

Determinar la oferta hídrica actual del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre para mejorar la producción agrícola local.

Objetivos Específicos

- Identificar la línea base de los usuarios del Sistema de Riego Milagro Mariscal Sucre.
- Estimar el uso consuntivo para los principales cultivos de la zona de estudio.

- Contrastar la oferta y el uso consuntivo del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre.

Hipótesis

¿La oferta hídrica del sistema de riego Milagro, abastecerá para solventar el uso consuntivo de los principales cultivos en temporada de verano?

Aporte Teórico

Este estudio permitió obtener información relevante sobre el volumen de captación hídrica en la bocatoma del canal C, D-1 y D-2 en el estero Anapoyo, además, la capacidad lateral en el río Milagro para la red de canales M. La sumatoria de todos estos caudales conforman la oferta hídrica global del Sistema de Riego Milagro.

Después de las consideraciones anteriores, como aporte teórico, también se deja el uso consuntivo (ETc) de los principales cultivos del área de influencia.

Adicionalmente, otro aporte teórico consiste en indicar la actual oferta hídrica de zonas de influencia del estudio.

Aplicación Práctica

Los agricultores de la zona que realizan explotación agrícola con producción de caña de azúcar, cacao, banano, plátano, maíz y arroz, podrán contar con la información actualizada sobre la evapotranspiración de referencia, coeficiente único del cultivo (Kc), evapotranspiración del cultivo y lámina de riego requerido por cada etapa del cultivo.

La Junta de Riego Mariscal Sucre, dispondrá de información actualizada del caudal captado para la red de los canales C, D-1, D-2 y M.

En este mismo sentido, el documento de la investigación reposará en formato digital y física en la biblioteca de la Universidad Agraria del Ecuador y en su página web del repositorio, como material de consulta por parte de la comunidad estudiantil, profesionales, agricultores de la zona y demás interesados en el tema.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Estado del Arte

La línea base de un estudio, describe la situación inicial de forma detallada de la población objeto de un proyecto, brindando criterios básicos para evaluar un plan y posteriormente mejorar la gestión (DGDE, 2016). De acuerdo con SENAGUA (2018), la línea base es la descripción cuantitativa y cualitativa del levantamiento de los datos básicos del proyecto, para establecer el escenario de la zona de estudio.

De la demanda de agua para riego.

De la disponibilidad de agua dulce en el país que se halla en los ríos, lagos y embales, de ella se asigna para la producción agrícola el 80%, se destina para la distribución del consumo humano el 13% y finalmente el 7% restante lo aprovechan las industrias (CAMAREN, 2015).

La actividad agrícola demanda del 80% del agua disponible superficial para satisfacer los requerimientos hídricos y lograr el máximo rendimiento (CESA, 2016). En este sentido, el PNRD (2019), menciona que habrá un incremento de la demanda de agua en los próximos años de un 22.40% para satisfacer las necesidades hídricas.

Del uso consuntivo.

La evapotranspiración de referencia (ET_o) es la tasa de evapotranspiración de una superficie extensa, cubierta por una pradera de gramínea de 8 a 15 centímetros de altura de crecimiento activo, con suministro abundante de agua y que sombrea totalmente la superficie (UNALM, 2016).

Para determinar los valores del coeficiente de cultivo (K_c), es indispensable ubicar y contar con información local, conocer las etapas fenológicas del cultivo en la zona de estudio o en condiciones climáticas similares (Ortega, 2019).

Así también manifiesta Peña (2016), que el factor K_c depende de la particularidad morfológica, agroclimática y edáfica para un adecuado ajuste.

Nieto (2018), indica que el coeficiente del cultivo (K_c), expresa la relación entre el uso consuntivo del cultivo (ET_c) y la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) y varía de una región a otra zona. Por tal motivo el uso consuntivo, es el volumen del recurso hídrico que requiere el cultivo en el momento oportuno y de una manera uniforme y eficiente para desarrollarse, y el término denominado uso consuntivo es la evapotranspiración del cultivo (ET_c), que está formado por el volumen de agua que transpira el vegetal a través de las hojas y la cantidad de agua que evaporada directamente del suelo y un mínimo porcentaje de agua que se queda en los tejidos del vegetal.

Al mismo tiempo, la FAO (2006), señala que ET_c es la combinación de la evaporación del agua de toda superficie (superficie del suelo, lagos, ríos y vegetación mojada) y la transpiración (vaporización del agua contenido en los tejidos de la planta hacia la atmósfera), y esta combinación se denomina evapotranspiración del cultivo (ET_c) expresado en mm/día.

Los elementos esenciales que influyen para la estimación del uso consuntivo, según la FAO (1987), indica que son el clima (la lluvia, humedad relativa, heliofanía, velocidad del viento, temperatura), el cultivo (variedad, profundidad radicular, ciclo vegetativo, etc.), el suelo (textura, capacidad de retención de la humedad, profundidad del nivel freático y estructura), y por último el agua para riego (calidad, disponibilidad y método de riego).

Según Fernández (2017), indica que para estimar el uso consuntivo (ET_c) de un determinado cultivo, se debe emplear parámetros de la estación agrometeorológica ubicada en la zona de estudio o de similares condiciones al lugar que se va a estudiar.

Según Peña (2016), indica que, el coeficiente del rendimiento (K_y) de los cultivos depende de la variedad, fertilización y control de plagas y FAO (1990) concluyeron que el coeficiente (K_y) es el factor de rendimiento que expresa el efecto del suministro de agua sobre el rendimiento del cultivo y la evapotranspiración.

Del cultivo de la caña de azúcar.

El riego oportuno en el cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) garantiza que la planta incremente el diámetro, peso y altura del tallo, para tal fin, se suministran riego en toda su etapa fenológica, según la estimación del uso consuntivo local, para obtener una máxima producción de la biomasa (Melgar, 2016).

En efecto, la selección de la metodología para la irrigación se debe tener en cuenta la eficiencia en el uso del recurso hídrico, la topografía, tipo de suelo, la oferta hídrica, el costo de la infraestructura, el mantenimiento y manejo del sistema (Castro, 2015).

En este mismo sentido, Astudillo (2011), indica que el ingenio La Troncal, mantiene un intervalo de riego para la producción de la caña de azúcar cada 20 días y suministra una lámina de dos pulgadas por hectárea y suspende el riego dos meses antes de la cosecha inducir a la formación de la azúcar.

El estudio de riego y drenaje de la FAO 24 (1997), indica que el coeficiente de cultivo (K_c) de la caña de azúcar y de los demás cultivos, varían considerablemente de un distrito de riego a otra demarcación hidrográfica, en función de las condiciones climáticas, edáficas, fases de desarrollo del cultivo y periodo vegetativo.

Del cultivo del cacao.

Según SEMPLADES (2015), hace referencia que en la provincia del Guayas es la primera zona productora de cacao en el Ecuador, sobre pasa los 46,000 tm (34.90%) y la segunda zona productora es la provincia de Los Ríos, con una producción global de 33,000 tm (24.90%), y entre estas dos provincias producen el 60% del cacao en el Ecuador, que demanda del recurso hídrico para riego.

Según Gualpa (2014), en su trabajo de investigación, determinó que el cultivo de cacao en la zona de Santo Domingo de los Tsáchilas alcanza el máximo valor de uso consuntivo (ETc) de 3.37mm/día, y que esta planta por lo general demanda una lámina de riego promedio anual de 1,500 mm.

En este mismo sentido, MAGAP (2016), menciona que el requerimiento hídrico del cultivo de cacao en la zona costera es de 1,500 mm, que se debe ser distribuido uniformemente en todo el año, aplicando lámina de riego en intervalo de cada 20 días por el método de riego superficial.

De igual manera Del Cioppo (2016), manifiesta que, en el trabajo de investigación sobre el cultivo de cacao en la zona de Chongón tuvo una necesidad hídrica de 1,380.00 mm por año, y el máximo valor del uso consuntivo (ETc) fue de 4.26 mm/día para el mes de diciembre.

Del cultivo del banano.

El cultivo de banano es muy sensible al estrés hídrico, se ve afectado en el crecimiento y disminución drástica en la producción por un manejo inadecuado de los parámetros agroclimático, edáficos y fases fenológicas del cultivo (Bancaya, 2019).

Con respecto al mismo tema, Herrera (2020) concluye que, el uso consuntivo debe ser estimado con parámetro local, además de incluir el porcentaje de la pérdida por eficiencia del sistema de riego, ya que este cultivo demanda de aporte hídricos complementario durante toda la temporada de sequía para garantizar rendimientos competitivos.

Por lo indicado en lo anterior, Bancaya (2019), resumió que, en su trabajo de investigación, el cultivo de banano presento el máximo valor del uso consuntivo de 3,4mm/día para la época se sequía y el cultivo estuvo establecido en suelo franco arcilloso, similar a la zona de estudio.

Del cultivo del maíz.

Según Bancaya (2019), menciona que el cultivo de maíz grano se adapta muy bien a todas condiciones edáficas en la zona costera, con disponibilidad de agua para riego en toda su etapa fenológica, enfatizando en la época de la floración para una máxima productividad.

Del mismo modo, según Sandal (2014), indica que, en su trabajo de investigación en la zona de Pueblo Viejo, estimó que el uso consuntivo (ETc) para el cultivo de maíz grano en su etapa inicial fue de 2 mm/día, la etapa media llegó hasta una ETc de 6,5 mm/día y en su etapa final descendió hasta una ETc de 3.5 mm/día.

Del cultivo del arroz.

El cultivo de arroz tiene un período vegetativo de 120 días, el cultivo bajo sistema de riego por inundación deberá mantener una lámina de riego permanente de 100 mm máximo, hasta 15 días antes de la cosecha, para alcanzar un rendimiento de 4.19 t/ha (INIAP, 2018).

Según Zornoza (2016), informa que, en su trabajo de investigación, sobre la estimación del uso consuntivo para el cultivo de arroz en la zona de Daule, tuvo una estimación máxima de la ETc de 4.2mm/día en el mes de diciembre con un periodo vegetativo de 120 días.

Del riego.

El método de riego por anegación consiste en suministrar el agua a un predio que tenga la superficie nivelada, hasta alcanzar una determinada altura (CESA, 2016), así también INIAP (2018) expresa que este método de riego es adecuado para la producción de arroz en zonas con abundante agua y suelos franco arcilloso.

Para el riego superficial, el caudal es expresado en litros por segundo y el tamaño del caudal dependerá de la velocidad de infiltración, así también la uniformidad del riego por surco depende de la relación entre el avance del agua a lo largo del surco y el movimiento del agua hacia los costados de éste, el caudal depende por lo general de la forma del surco y del tipo de suelo (FAO24, 1997).

De la eficiencia del sistema de riego.

La eficiencia de un sistema de riego es la relación entre el uso consuntivo y la cantidad del recurso hídrico que se pierde desde la captación hasta el proceso de aplicación parcelaria. La eficiencia del sistema de riego (Ef_r) se conforma por la eficiencia de conducción (Ef_c) en el canal principal, la eficiencia de distribución (Ef_d) se da en los canales laterales y la eficiencia de aplicación (Ef_a) en las parcelas de riego (DGIAR, 2015).

Referente al párrafo anterior, Domínguez (2016), determinó en su trabajo de investigación, que la eficiencia global del sistema de riego San Jacinto fue del 70.59%, la eficiencia de conducción (Ef_c) fue 79.40%, la eficiencia de la distribución (Ef_d) tuvo el 77.40% y eficiencia de aplicación (Ef_a) fue de 54.96%.

De la oferta hídrica.

La oferta hídrica en la vertiente del Pacífico, se va disminuyendo permanentemente con el paso del tiempo, por el manejo inadecuado de la cuenca alta del sector andino y la deforestación indiscriminada, además del incremento de la frontera agrícola y el deterioro del páramo (PNRD, 2019).

En el Ecuador, se presenta dos condiciones climáticas anuales que son el invierno y verano que marcan los ciclos de la oferta hídrica disponible en el año, la época de abundancia de agua y de sequía (Gallardo, 2019).

CAMAREN (2015), indica que la oferta hídrica de un sistema de riego comunitario es la cantidad de agua que puede captar y distribuir para satisfacer las necesidades hídrica de los cultivos y para determinar su caudal, se debe realizar procedimientos con aparatos técnicos mediante aforo de caudal de un determinado cauce natural o artificial.

En ese mismo sentido del párrafo anterior, CESA (2016) indica que, la oferta hídrica varía en función de la precipitación en la cuenca de recarga y la variación estimada del uso consuntivo (ETc) por las condiciones climática y etapa fenológica del cultivo.

Según INERHI (1984), indica que el agua superficial es asignada el 80% para el uso agrícola, sin embargo, de ese porcentaje se pierde el 15 al 25% del caudal por concepto de baja eficiencia del sistema de riego comunitario, esa pérdida incluye desde la captación, conducción, distribución y aplicación parcelaria.

1.2 Bases Científicas y Teóricas de la Temática.

1.2.1 Oferta hídrica

Según Cotrina (2016) la oferta hídrica, es el caudal captado en los ríos, lagos, embalses, se deben expresar en metros cúbicos por segundo, para conocer el volumen que se está derivando en una determinada fuente y se deberá realizar la medición (aforo) en la bocatoma de la captación, mediante la relación de área (m^2) y velocidad del flujo (m/s).

De igual manera MAGAP (2016), indica que la demanda hídrica se define como la cantidad de agua necesaria que necesitan los cultivos para desarrollarse en toda su etapa fenológica y obtener el máximo potencial genético en su producción y rentabilidad económica.

1.2.2 Canal de riego

Un canal abierto es un cauce en el cual el agua fluye en una superficie sometida a la presión atmosférica, siendo el fluido siempre un líquido y por lo general es agua para satisfacer la necesidad de riego y actividades agropecuarios (ICC, 2017).

En este mismo sentido Sandoval (2015), dejan claro que el líquido que fluye por la sección del canal abierto pudiendo ser revestido o no recubiertos y el movimiento del agua por la acción de la gravedad y sobre él no actúa presión ejercida por bomba, sino sólo por su propio peso. La infraestructura puede ser de sección trapezoidal, parabólica, tubería, rectangular, y triangular.

Del canal principal se deriva el canal secundario, que inicia la etapa de distribución del agua para riego en las parcelas cercanas, las mismas que son trazadas y construidas en las divisorias que pasan las vaguadas, así mismo del canal secundario parten los canales terciarios que son de orden inferior y domina una superficie menor en dotación del recurso y a veces es necesario un canal cuaternario para mejorar la operación de mantenimiento. Los caudales que son distribuidos en la red de canales son controlados por compuerta y su dimensión además del ángulo de apertura están determinado mediante aforos (Grassi C. J., 2002).

Es importante considerar también los siguientes componentes fundamentales de un canal.

a. Sección transversal del canal.

Son elementos geométricos de la sección y profundidad del flujo y la determinación de estos datos son de vital importancia para realizar el cálculo del caudal que oferta un canal de riego.

Para secciones regulares y simples del canal, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo.

b. La velocidad.

El molinete es un instrumento electrónico que contabiliza las revoluciones que trabaja la hélice cuando es sumergida en un caudal con movimiento, pudiendo ser el caudal que fluye en un canal o río y su velocidad es expresado en metros por segundo.

1.2.2.1 Aforo del caudal de riego.

Según ICC (2017), indica que el aforo del caudal de un canal de riego consiste en el método de asignar una sección transversal y longitudinal para realizar varias lecturas en diferentes secciones en el mismo tramo de referencia. Para aforar los canales es indispensable no suspender el funcionamiento durante todo el procedimiento.

1.2.2.1.1 Métodos de aforos.

La (OMM, 2011), detalla que los métodos para aforar los caudales de ríos y canales abierto para riego son los siguientes:

a. Aforo volumétrico.

Consiste en la medición de un caudal mediante el empleo de un recipiente sencillo de volumen conocido además de un cronómetro para determinar el tiempo de llenado, el método volumétrico es más eficiente, pero es recomendable solamente para caudales pequeños (ICC, 2017).

b. Aforo con vertedero.

El aforo mediante el método del vertedero permite la cuantificación del caudal que circula en una sección transversal del canal de riego. El método consiste en ubicar un tabique con una sección predeterminada de forma transversal en el canal para inducir que se dé una caída libre del agua, entre ella está los vertederos rectangular, trapecial, triangular, circular y otras secciones (Sandoval, 2015).

c. Aforo con flotadores.

Es un componente natural o artificial que tenga la capacidad de flotar, la misma que va a ser trasladado por el volumen del agua en movimiento en determinada longitud del canal y ser registrado en una planilla el tiempo y distancia.

El aforo con flotar es realizado en circunstancias imprevista y en ausencia de emplear otro método y el tramo debe ser recto y sin obstáculo que impidan frenar el flotar y su longitud del canal debe ser seis veces el ancho del cauce y se debe determinar el área de la sección transversal (ICC, 2017).

d. Aforo con molinetes.

Es un instrumento de precisión que mide velocidad del agua en una determinada sección del canal y además se usa como método patrón en la calibración de otros métodos de aforo (ICC, 2017).

1.2.3 Uso consuntivo.

Es la combinación de la evapotranspiración y el agua que las plantas retienen para su proceso fisiológico. Esta cantidad más pequeña en comparación con la evapotranspiración (aproximadamente representa sólo el 1 %), por tal motivo el término evapotranspiración y uso consuntivo se usan como sinónimos. El conocimiento de la evapotranspiración o uso consuntivo es un factor determinante en el diseño de sistemas de riego, incluyendo las obras de almacenamiento, conducción, distribución y drenaje. Especialmente, el volumen útil de una presa para abastecer una zona de riego depende en gran medida del uso consuntivo (FAO, 2015).

1.2.3.1 Evaporación

La evaporación del agua consiste en el proceso del cambio del estado líquido al estado gaseoso mediante la acción de la transferencia de energía calórica producida por la radiación solar directa, generando pérdidas de agua en mayor porcentaje en clima cálido por evaporación de la superficie de suelo húmedo, ríos, canales de riego, embalses de agua (OMM, 2011).

De allí, que la evaporación es el recurso hídrico perdido en forma de vapor de agua desde el suelo adyacente al cultivo y la superficie húmeda de las hojas de las plantas y los factores que influyen son radiación solar, latitud, estación del año, nubosidad, velocidad del viento y presión atmosférica (INIA, 2017).

Al mismo tiempo la ausencia de aporte de agua por lluvia, riego o de cualquier otra fuente de reabastecimiento hídrico a la superficie del terreno, causa que la tasa de evaporación se reduzca drásticamente hasta cesar por completo la evaporación (FAO, 2016).

1.2.3.2 Transpiración.

La transpiración consiste en el proceso de la evaporación del líquido del interior de hojas del cultivo u otro organismo vivo hacia la atmosfera, también denominado traspiración por las estomas de las hojas de la planta (FAO, 2015).

La transpiración es un proceso en la que consistes en el movimiento del agua mediante el sistema radicular y luego conduciendo por el tejido de la planta hacia el área foliar y todo el exceso de agua no usada para el proceso de crecimiento y fotosíntesis del vegetal, es eliminado por las estomas de la hoja, en forma de vapor. Por consiguiente, el proceso de transpiración del cultivo es similar al proceso de evaporación (FAO, 2006).

Evidentemente la transpiración es parte la absorción de un mineral desde el suelo y transportarlo dentro de la planta mediante el xilema y con una temperatura superior a 30°C se registra una reducción de la transpiración que afecta la concentración de microelementos en el follaje y además la transpiración es un sistema de la planta que usa para disipar el calor (Squeo & León, 2007).

Por último, es conveniente anotar que se ha estimado que una planta de maíz transpira aproximadamente 600 kg de agua para producir un kg de maíz seco y 225 kg de recurso hídrico para producir un kilogramo de biomasa (tallo, hoja y raíz).

De la cantidad de agua absorbida y circulada por la planta, sólo el 1% se incorpora a la biomasa y la diferencia es transpirada hacia la atmósfera y los factores que intervienen en el potencial hídrico del vegetal son la humedad del suelo y la pérdida de agua por la transpiración estomática. Una superficie foliar tiene un promedio de 10,000 estomas por centímetro cuadrado (PNRD, 2019).

1.2.3.3 Radiación solar.

La radiación solar es considerada el factor ambiental más importante que actúa en diferente forma en cada organismo vivo (animales y vegetales) que existen en nuestro planeta. Este factor ambiental es el encargado de controlar el funcionamiento de los ecosistemas y elementos ambientales (temperatura, humedad, etc.) y ciclos naturales, está longitud de onda de la radiación solar, va desde 400 hasta 700nm y se halla en un rango de colores violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo (FAO , 2014).

Es así como la radiación solar tiene gran influencia en la agricultura y es útil en la planificación y distribución de especie adecuada para la zona a establecer el cultivo por la fecha de siembra, demanda de hora luz por ciclo en hortaliza, floricultura y frutales (FAO, 2006).

Cabe destacar que el sol es fuente de energía radiante, que permite sintetizar y transformar la energía solar en energía química mediante la fotosíntesis para producir carbohidratos a partir dióxido de carbono y agua. Pero un exceso o falta de radiación solar afecta gravemente el desarrollo de la planta, el crecimiento y calidad del fruto (FAO , 2014), por otra parte la demanda hídrica en zona agropecuario es proporcional a la cantidad de radiación solar por ciclo de cultivo, con mayor intensidad por día de luminosidad, mayor es la evaporación y transpiración, por lo tanto la necesidad de riegos va ser más frecuentes (INIA, 2017).

1.2.3.4 Humedad relativa del aire.

La humedad relativa es la cantidad de agua que contiene el aire (humedad absoluta) en estado de vapor y es susceptible de ser medido con higrómetro la cantidad de temperatura (humedad absoluta máxima) y el porcentaje de humedad de saturación (FAO, 2015), si se registra en el hidrómetro un 35% de humedad relativa en el ambiente, se considera que el aire está muy seco y va absorber más volumen de agua para llegar a mayor porcentaje de humedad relativa (OMM, 2011).

En la agricultura, la humedad es un factor importante por considerarse para el proceso de la fotosíntesis sea posible, en bajo porcentaje de humedad las estomas se cierran y al mismo tiempo se cesa el proceso de la fotosintético del vegetal (FAO , 2014).

Finalmente, la zona de estudio presenta una temperatura de 25°C en promedio y la humedad relativa (HR) de 86% por estar ubicado la zona tropical con dos estaciones climáticas, seca y lluviosa (Plan de desarrollo y ordenamiento Naranjito, 2014) y de la misma manera presenta la zona de Milagro con mínima variación.

1.2.3.5 Velocidad del viento.

A mayor velocidad del viento, el suelo se seca por vaporación con mayor rapidez y el vegetal transpiran más, incrementando el requerimiento de agua para riego con mayor frecuencia. Fundamentalmente las estomas de las hojas expuesta a la velocidad del viento se cierran a medida que el potencial hídrico disminuya con el fin de evitar pérdidas de agua y deterioro (INIA, 2017).

La velocidad del viento se mide en metros por segundo (m/s) o kilómetros por día (km/día) y varia de una zona a otra y los efectos en la agricultura son un medio de transporte de polen, materia orgánica, humedad, etc.

Las dos características fundamentales del viento son dirección y velocidad (FAO , 2014).

La velocidad de viento se clasifica para efecto de la agricultura en el siguiente rango:

- Velocidad de viento calmado es cuando el humo de un leño sube de forma vertical y se halla entre el rango de 0 hasta 8 km/hora.
- Para efectos de riego por aspersión, la velocidad de vientos se considera máximo hasta 8km/hora y para mayor velocidad se debe disminuir el espaciamiento en un 2% por cada 1.5km/hora.
- Velocidad de viento débil es cuando agita las pequeñas hojas y se halla en el rango de 8 hasta 16 km/hora.
- Velocidad de viento moderado, se presenta agitando las pequeñas ramas y se mueve las hojas de las plantas, la misma que está el rango de 16 hasta 30 km/hora.
- Velocidad de viento fuerte es cuando se mueve las ramas gruesas y los troncos del árbol y también se puede observar oleajes en los estanques por estar entre el rango de velocidad de 40 hasta 60 km/hora.

1.2.3.6 Temperatura.

La temperatura Influye en la velocidad en que se difunde el vapor de agua de las hojas de la planta a través de las estomas, en general cuando más alta es la temperatura para un gradiente dado, más alto es la velocidad de difusión, así mismo afecta en el uso consuntivo de los cultivos de una región (CESA, 2016).

De acuerdo con (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territo Milagro, 2015), indica que en el cantón Milagro se localiza en la zona de clima tropical Megatérmico Húmedo y tiene una temperatura media diarias de 25 a 27°C con precipitaciones anuales entre 1,100 a 1,800 mm y además al (Plan de desarrollo y ordenamiento Naranjito, 2014) ha publicado que su cantón goza de piso climático que oscilan entre 15°C a 28°C.

1.2.3.7 Evapotranspiración (ET).

La evapotranspiración (ET) es la combinación de la evaporación de agua del suelo y la transpiración de la planta del estado líquido al estado gaseoso. Por otra parte, la evapotranspiración es el proceso en la que la planta absorbe agua con minerales por el sistema radicular para luego transformarla en savia bruta y el exceso de agua es transpirada a la atmósfera por efecto de la radiación solar mediante las estomas (Cadena, 2016).

Hay que mencionar, además que estos dos procesos de evaporación del suelo más transpiración del cultivo ocurren simultáneamente y son factores para determinar la necesidad de agua para riego y en la primera etapa de la planta, el agua se pierde por evaporación del suelo, pero con el desarrollo del vegetal se va cubriendo la superficie del suelo y el valor de la transpiración se convierte en el factor principal, llegando a ser más del 90% para el cálculo de la estimación del uso consuntivo (FAO, 2006).

Por consiguiente, se puede estimar la evapotranspiración (ET) de un determinado cultivo con datos climáticos de la zona. La FAO en el manual 56 de Riego y Drenaje sugiere que se emplee el método de Penman Monteith para la estimación de la evapotranspiración de referencia (ETR), con datos agroclimatológicos (temperatura del aire, humedad atmosférica, radiación y velocidad del viento, etc.) del sitio de estudio (CENGICAÑA, 2017).

1.2.3.8 Evapotranspiración Potencial (ETP).

La evaporación potencial es un parámetro climático ambiental (temperatura, radiación, viento, déficit de saturación, etc.) y se calcula con datos del área de estudio por el método de Thornthwaite, Penman-Monteith y Tanque evaporímetro y otras técnicas que mejor se ajusten (Tenelanda, 2017).

El método de Penman-Monteith es ampliamente usado para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o) en diferentes tipos de clima y además permite emplear mayor cantidad de información (radiación solar neta, temperatura del aire, velocidad del viento y tensión de vapor del agua) local del área de estudio y los resultados son más ajustado a la realidad de la zona en análisis (FAO, 2006).

Se debe agregar que, la evapotranspiración potencial (ETP) es el volumen máximo de agua que puede perder por evaporación en un determinado clima de la zona de estudio cubierto en su totalidad por vegetal a capacidad de campo y este factor de pérdida de agua se expresa en mm/día (CENGICAÑA, 2017).

1.2.3.9 Evapotranspiración real.

La evapotranspiración real (ETR) es la cantidad de evaporación del suelo y la transpiración de los cultivos de la zona de estudio y su valor máximo de evapotranspiración se da, hasta agotar la disponibilidad de agua en terreno cultivado y la estimación de este valor permite calcular la programación del riego y frecuencia de aplicación además del volumen de agua a dosificar.

Así pues, el riego para el cultivo se estima indirectamente usando la evapotranspiración potencial (ETP) y es corregido por un coeficiente de cultivo (K_c) específico del cultivo establecido en la zona de estudio (Tenelanda, 2017).

En este mismo sentido (INIA, 2017) indica que la evapotranspiración real (ETR) revela el volumen de agua usado por el cultivo entre dos riegos consecutivos y el método usado es de Penman-Monteith para determinar la Evapotranspiración real mediante el programa CROPWAT.

1.2.3.10 Evapotranspiración de Referencia (ET_o).

La evapotranspiración de referencia estándar es la pérdida de agua por evaporación del suelo y transpiración de un cultivo tomado como referencia el cultivo de gramínea de 8 hasta 15 cm de altura uniforme en óptimas condiciones de humedad y la evapotranspiración de referencia se expresa en mm/día, para determinar este factor se usa datos meteorológicos (temperatura máxima, temperatura mínima, radiación solar, humedad relativa, velocidad del viento, etc.) del área de estudio y la selección de método (Thornthwaite, Hansen, Penman, Blaney y Criddle, Turc, Grassi y Tanque evaporímetro) a utilizar para estimar la ET_o, depende de la disponibilidad de datos del clima que cada uno de ellos requiere (FAO, 2006).

1.2.3.11 Coeficiente del Cultivo (K_c).

El coeficiente del cultivo es una relación entre la evapotranspiración del cultivo en etapa definida y la evapotranspiración de un cultivo referencial. Es decir que el K_c depende de la característica climatológica, tipo de suelo y etapas del período vegetativo.

Tal es la razón que el coeficiente de cultivo (K_c) estimado con datos ajustado a la zona de estudio, es de vital importancia para diseño y planificación de riego por superficie o presurizado. Se puede señalar que el coeficiente de cultivos (K_c) es uno de los indicadores para estimar las demandas hídricas de un determinado cultivo (FAO, 2015).

De este modo, podemos señalar las principales características del coeficiente de cultivo (K_c):

- Altura del cultivo se relaciona con la interacción que se da entre cultivo y el viento, así como la pérdida de agua hacia la atmósfera.
- Albedo o reflectancia del cultivo es la fracción de la radiación solar reflejada sobre la planta y es la principal fuente de energía para el desarrollo de la fotosíntesis y evapotranspiración.

- Resistencia del vegetal a la pérdida de agua mediante el sistema foliar por unidad de superficie cultivada.

Factores que afectan el coeficiente de cultivo (Kc):

La característica del coeficiente Kc, varía durante el periodo de crecimiento y de la misma manera el volumen de la demanda de agua en diferentes etapas y ciclo del cultivo. Los factores son:

- **Cultivo:** Según el tipo de cultivo, marco de plantación y característica de la planta afectan la evapotranspiración del árbol desarrollados que cubren un 70% del suelo puede causar valor de Kc menor.
- **Clima:** En condición de aridez y velocidad del viento, los valores de Kc varían y en zona con alta tasa de humedad relativa (HR) y con velocidad de viento bajo, los valores de Kc disminuyen (FAO, 2006).
- **Evaporación del suelo:** Al cubrir completamente el suelo por el cultivo, el valor del factor de transpiración es el principal en comparación con la evaporación del suelo, cuando la relación de cobertura del cultivo es menor, la evaporación del suelo es mayor (FAO, 2006).

Según la (FAO, 2016), menciona que la determinación del coeficiente de desarrollo del cultivo, se debe establecer fases de desarrollo del cultivo con datos los factores de la zona de estudio (cultivo, suelo, clima y etapas fenológicas del vegetal).

1.2.3.11.1 Etapas de crecimiento del cultivo.

El periodo de desarrollo del cultivo se divide en cuatro fases con diferentes magnitudes en su etapa:

- **Fase inicial**

Esta fase inicia desde la germinación y crecimiento inicial, cuando la superficie del suelo está cubierta apenas o nada por el cultivo, hasta alcanzar una cubierta sombreada del 10% de la superficie (FAO, 2006). Por lo tanto, la evapotranspiración se compone principalmente de la evaporación del suelo en su mayor porcentaje en comparación de la transpiración del cultivo, por tal razón en esta etapa se debe mantener en óptimas condiciones de humedad la superficie del área del cultivo mediante riego frecuente (FAO , 2014).

- **Fase de desarrollo**

Desde el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa (FAO, 2015).

El comienzo de la fase media o final de la fase de desarrollo se reconoce sobre el terreno cuando el cultivo alcanza del 70 al 80% de la cubierta completa, lo cual no significa que el cultivo haya llegado a la altura de floración. Se supondrá una línea recta (inclinada hacia arriba) entre el valor de K_c al final de la fase inicial y el principio de la fase de mediados del periodo (FAO , 2014).

- **Fase medio**

Desde que se obtiene la cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración, tal como se pone de manifiesto por la decoloración de las hojas o su defoliación, en esta etapa el K_c alcanza el valor máximo (FAO , 2014).

- **Fase final**

Desde el final de la fase anterior hasta que se llega a plena maduración o recolección del cultivo establecido. El factor de K_c en esta fase depende de las prácticas de cultivo. Este valor de K_c varía en aquellos cultivos que deben dejarse secar en forma natural (maduración fisiológica) antes de la cosecha a aquellos que se recolecta con frecuencia para mantener la característica de la calidad de productos que son comercializado en fresco (FAO , 2014).

1.2.3.12 Evapotranspiración del cultivo (ETc).

Para determinar la Evapotranspiración del cultivo, se usó programa CROPWAT de la FAO 56, para hacer un análisis de entrada y salida.

1.2.4 Balance hídrico

Una superficie agrícola, recibe aportación hídrica mediante la precipitación (P) en época de invierno, esa lámina de lluvia es absorbida por el suelo, el exceso pasa formar parte del cuerpo del río, lagos y agua subterránea. La pérdida del agua se da por evaporación del suelo, evapotranspiración de la planta y otra parte se da por la infiltración al subsuelo. La diferencia entre la aportación de agua por lluvia y la perdida, se considera balance hídrico y en épocas de verano la aportación de agua es nula y se debe considerar la aportación de agua para los cultivos, mediante riego (Duque, 2019).

1.2.5 Riego

La producción agrícola de la zona del Guayas, es la provincia con el más alto porcentaje de acceso al recurso hídrico para riego (76.20%) de los cultivos permanente, en tanto el 59.90% de los cultivos de ciclo corto son abastecido de agua para riego, en comparación de la provincia de Santa Elena, apenas el 0.70% de la superficie global apta para riego se halla bajo riego (SEMPLADES, 2015).

El método de riego por anegación consiste en suministrar el agua a un predio que tenga la superficie nivelada, hasta alcanzar una determinada altura (CONADI, 2017), así también INIAP (2018) expresa que este método de riego es adecuado para la producción de arroz en zonas con abundante agua y suelos franco arcilloso.

1.2.5.1 Importancia del riego

Según Álvarez (2019), el factor riego en la explotación agrícola es uno de los componentes más importante en la agricultura, esto refleja lo importante que tiene para el desarrollo de los cultivos. Un fortuito escás hídrica o exceso de lluvia, podrían causar pérdida parcial o total de la cosecha.

Con el 17% de la tierra cultivada a nivel mundial, que tiene acceso al recurso hídrico para riego mediante diferentes técnicas, permite producir el 40% de los alimentos que se consumen en el mundo, el rendimiento bajo riego es 3.6 veces más con respecto al cultivo de secano (MAGAP, 2015).

1.2.5.2 Métodos de riego.

Los métodos de riego que se implementan en la producción agrícola, se deben ajustar a la disponibilidad de la oferta hídrica, condiciones topográficas, tipo de cultivo, disponibilidad de recurso económico para el nivel de tecnificación, etc., en este sentido, el método de riego consiste en la forma de aplicar el agua al suelo para que sea utilizada por la planta y la metodologías más comunes son clasificados en riego superficial y presurizado (MAGAP, 2014). Los métodos más usuales son:

- **Riego superficial.**

El riego superficial, es considerado una técnica antigua en aplicar agua a la parcela, en donde el líquido fluye por gravedad sobre la superficie del terreno agrícola y el volumen del caudal se reduce a medida que se infiltra en el suelo y avanza humedeciendo la parcela (Fernández R. , 2010).

Así mismo, esta técnica es considerada un método económico y su eficiencia de aplicación de riego está entre 45% a 60% en función del tipo de suelo, además es una metodología que se ve limitado por la disponibilidad de agua y condición topográfica (Santos, 2010). Se debe agregar que, esta técnica de riego superficial permite aplicar agua a todo tipo de cultivo con diferentes marcos de plantación y distanciamiento, además es empleado en terreno con relieve llano y mínima pendiente (Grassi C. , 2000).

En consonancia con lo antes indicado, Demin (2014) , concluye que el riego superficial depende de la disponibilidad del recurso hídrico, la capacidad de infiltración del suelo y el uso consuntivo (ETc) del cultivo.

- **Riego por canteros.**

Este método de riego por cantero es el más usado en la agricultura Andina y consiste en la aplicación del agua al suelo agrícola con área rectangular o cuadrado con mínima pendiente, para emplear este método de riego, el terreno debe estar completamente nivelado (Santos, 2010).

Así también, en esta técnica de riego es aplicado desde la cabecera del terreno y es conducido por surcos con una eficiencia entre 50 hasta 70% y es ideal para terreno con tasa de infiltración baja y media, es empleado con pendientes hasta el 5% y suelo arcilloso (Fernández R. , 2010).

Razón por la cual, MAGAP (2014), acota que, este método de riego es ampliamente practicado en la región andina y la costa ecuatoriana para los cultivos de papa, hortaliza, maíz, alfalfa, cacao, plátano, banano, caña de azúcar y otros cultivos, el caudal de diseño para este método debe ser menor a un litro por segundo en suelo poco empinados con el fin de mitigar la erosión y en suelo plano se podrá dar un volumen de riego hasta 4 litros por segundo.

- **Riego por inundación.**

Para emplear esta técnica de riego, el terreno debe mantener una pendiente de cero y con dique perimetral por parcela, que permitan mantener la lámina de agua deseada, este método es ideal para la producción del cultivo de arroz (INTA, 2016). Según CONADI (2017), indica que, esta técnica de riego por inundación, se deja ingresar el agua hasta la parcela y el caudal es controlado mediante la apertura y cierre de compuerta.

La topografía para este método de riego debe mantener una pendiente cero, el caudal que se emplea es superior a la permeabilidad del terreno, entonces el agua se acumula formando carga hidráulica, las unidades de riego puede ser rectangular, cuadradas o tomar cualquier forma de perímetro y deben estar limitada por muro perimetral para permitir mantener una lámina de agua constante para el caso de la producción de la Oriza sativa (Romanella, 1978).

- **Riego presurizado.**

El riego presurizado se caracteriza por tener un sistema de distribución de agua a presión mediante conducción por tubería hasta llegar a la planta y los métodos más usados son aspersión, microaspersión y goteo.

Por consiguiente, el riego presurizado demanda de un alto consumo energético para el correcto funcionamiento del bombeo y su eficiencia es de 90% (CONADI, 2017).

1.2.6 Cultivo predominante del área de influencia.

1.2.6.1 Cultivos de banano.

Según Toro (2016), indica que el cultivo de banano (*Musa sp*), demanda de un suelo con textura franco (arenosa, arcillosa, limoso) que tenga un adecuado contenido de fertilidad y que se desarrolla en un alto rango de suelos, con profundidades que van de 0 a 1,20 metros con un pH de 5,50 hasta 8 con pendientes menor al 2%, que presenten un buen drenaje natural y un contenido de materia orgánica mayor del 5%.

Por otra parte, con respecto al riego, se debe considerar una precipitación anual de 2,000 milímetros para satisfacer el requerimiento del uso consuntivo (ETc) de la planta (Toro, 2016). Así también la FAO (2015), menciona que el cultivo de la *Musa sp.*, es muy sensible al déficit hídrico y consecuentemente, este cultivo con deficiente de riego disminuye el rendimiento.

Según INERHI (1984), indica que el cultivo de banano es regado por los agricultores que están ubicado en la Cuenca Baja del Río Guayas, mediante la distribución del agua por los canales y controlado su caudal por compuertas y algunos productores también tienen instalado el riego por aspersión.

1.2.6.2 Cultivos de caña de azúcar.

Según CINCAE (2016), indica que, la caña de azúcar en el Ingenio San Carlos tiene una etapa fenológica desde la siembra hasta la cosecha de 12 meses, la primera etapa tiene 5 (0-5) meses entre la germinación y macollos, la etapa de crecimiento demora 4 meses (5-9) y la etapa de maduración toma 3 meses (9-12) hasta la época de corte.

En el año 2,006 la superficie cultivada por la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) fue 69,156.00 ha, de las cuales el 89% se concentra en la Cuenca Baja del Río Guayas. A su vez, la caña de azúcar se adapta muy bien en suelo poroso, aireado y con adecuado drenaje y su rendimiento es de 90 toneladas por hectárea (CINCAE, 2016).

Según Burgos (2015), menciona la caña de azúcar demanda de una lámina de riego de 1,500 hasta 2,500 mm por año en la zona tropical, el valor del uso consuntivo (ETc) varía según la fase de desarrollo del vegetal. Así también lo ratifica CINCAE (2016), que este cultivo en todas sus etapas fenología del vegetal hasta la cosecha requiere entre 1,600 hasta 2,500 mm/año

Mientras tanto CENICANÑA (2017), indica que el riego superficial por surco demanda de un porcentaje (%) más del valor del uso consuntivo (ETc) por la pérdida en su eficiencia de riego, para riego por surco se debe de considerar una eficiencia del 40% y para riego por aspersión, la eficiencia es 70%.

Según CENGICANÑA (2017), menciona que el sistema de riego por el método aspersión requieren más energía para regar el mismo volumen de agua que el riego superficial.

1.2.6.3 Cultivos de cacao.

El riego es un factor vital en el desarrollo y producción del cacao (*Theobroma cacao*), el suelo húmedo maximiza productividad de este cultivo, para implementar el método de riego en la producción del cacao, se debe tener en cuenta el factor económico, disponibilidad de agua, topografía del predio, tipo de terreno (Saltos, 2016).

Según ANECACAO (2015), señala que el cultivo de cacao en la región cálida, demanda de una lámina de riego entre 1,500 a 1,800mm, distribuido durante la temporada de sequía; de igual manera menciona INIAP (2015), que el uso consuntivo (ETc) para el cacao está entre 4.75 mm/día en la costa ecuatoriana.

1.2.6.4 Cultivos de maíz.

Según Macarena (2019), menciona que el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) se adapta a una gran variedad de suelo en la costa, de preferencia que sea de textura media con alta fertilidad y buen drenaje, con pH que este entre 5.5 hasta 7.8, y la temperatura adecuada es entre 24°C a 30°C.

Según INIAP (2015) indica que el maíz requiere una lámina de riego de 800 a 1,000.0 mm por ciclo del cultivo, su máximo valor del uso consuntivo (ETc) es en época de floración y llenado del fruto.

Según Sandal (2014), resume que el uso consuntivo (ETc) para el cultivo de maíz es de 6,5 mm/día en época de floración y llenado del grano.

1.2.6.5 Cultivos de arroz.

El cultivo de arroz (*Oriza sativa* L.) se desarrolla con temperatura de 25 hasta 35°C, mayor hora de radiación solar beneficia al rendimiento y el reducido número de luz solar afecta al llenado del grano, se puede producir hasta 2500 m.s.n.m, y la condición edáfica adecuada es la de textura arcillosa que tenga un pH ligeramente ácido de 6.6 (AGROCALIDAD, 2015). En el mismo sentido, INIAP (2015), señala que este cultivo tiene un ciclo de vida de 120 días para su producción.

Según Espinoza (2016), indica que la lámina de riego para el cultivo de arroz debe permanecer constantemente entre 100 a 150 mm de profundidad y el volumen requerido aproximado en el ciclo es de 15,000.0 hasta 18,000.0 m³ por hectárea.

1.2.6.6 Cultivo de plátano.

Según Castaño (2016), en su trabajo de investigación, encontró que el coeficiente (Kc) para el cultivo de plátano (musa simmonds), en su etapa inicial obtuvo un valor de Kc de 0.45 y para la etapa de máximo desarrollo halló el valor de 1.10 y en la etapa final descendió progresivamente hasta llegar al valor mínimo de 0.80 para la temporada de cosecha.

Según Lucín (2018), señala que, el cultivo de plátano en la zona tropical requiere una lámina de riego de 1,140.0 mm por año, distribuido en toda su etapa fenológica para garantizar el máximo rendimiento, así también MAGAP (2014), menciona que, este cultivo presenta un uso consuntivo de 5.75 mm/día en la Península de Santa Elena por su condición agroclimática.

1.3 Fundamentación Legal

Ley Orgánica de los recursos hídricos y el Plan Nacional de Riego y Drenaje.

La Constitución de la República del Ecuador del 2008 en su Art. 12. Sobre los derechos del buen vivir, indica lo siguiente:

“El derecho al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida”

En este mismo sentido, SENAGUA y la Constitución del 2008, indican que el agua es un recurso natural básico para la vida del ser humano, animales y producción agrícola.

De igual manera indica el MAGAP (2015) que:

“El agua es un elemento esencial para el desarrollo agrícola sostenible; su aprovechamiento, utilización y conservación constituyen elementos fundamentales en cualquier estrategia de desarrollo”

CAPITULO 2

ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1 Métodos.

Para el desarrollo de esta investigación, se usó el método inferencia denominado teórico Inductivo-deductivo, que se basa en la lógica y sigue un procedimiento ordenado para encontrar, demostrar y aportar un conocimiento. Específicamente son:

- **Método Inductivo**

Este método se fundamenta en el proceso de la observación y análisis mediante el razonamiento para formular conclusiones de carácter general, que suelen convertir en teorías o normas.

- **Método Deductivo**

Este método se basa en deducción y consiste en el proceso de razonamiento para posterior inferir los hechos con base a leyes generales de aplicación universal para llegar a conclusiones específicos.

Las reglas para emplear el método Inductivo-deductivo son:

- Observar la asociación de los fenómenos y por inducción tratar de descubrir la ley o principios que lo asocian a todos.
- Hacer varias observaciones o experimento para determinar la variación de los resultados y consecuentemente mayor es las probabilidades de que las leyes sean verídicas.

El método de investigación bibliográfico se empleó para la preparación del marco teórico que permita fundamentar la investigación del estudio, de igual manera, se lo utilizó para formar la discusión de los hallazgos al realizar el cotejo del resultado con respeto a lo publicado por otros investigadores anteriores.

2.1.1 Modalidad y Tipo de Investigación.

La investigación es de tipo no experimental debido a las variables consideradas para el estudio, así mismo se consideró un estudio descriptivo, exploratorio y bibliográfica para el desarrollo del tema planteado.

El estudio es de tipo descriptivo, exploratoria, analizando los aspectos que influyen al objetivo propuesto

Investigación descriptiva.

La investigación es de tipo descriptiva porque describe las características, cualidades interna y externa, propiedades y rasgos, esenciales de los hechos y fenómenos de la realidad tal como se presenta en el lugar del estudio (Crispín, 2017).

Por lo que indica Crispín, se usó este método para buscar y levantar la información actual en función del objeto del estudio, sobre la determinación de la oferta hídrica y el uso consuntivo, mediante el levantamiento de información en campo y su caracterización del sistema de riego, superficie cultivada, métodos de riego, números de usuarios, etc.

- **Investigación exploratoria.**

Según el objeto del estudio, se examinó detalladamente las características de los canales en su sección transversal, longitud, velocidad del flujo del agua, tipo de cultivo, superficie cultivada, toda esta información se registró y procesó.

Aforo de canal de riego

Tirante promedio de la franja de la sección transversal del canal

Calcular el tirante promedio (d) de cada franja con la expresión

$$d_n = \frac{A + 2B + C}{4} = m \quad (1)$$

Dónde:

d = tirante promedio

A = Tirante inicial (extremo)

B = Tirante central

C = Tirante final (extremo)

Cálculo del área de la franja de la sección transversal del canal

Calcular el área de cada franja (A) como L producto del tirante medio (d) y el ancho de la franja (a)

$$A_n = L * d = m^2 \quad (2)$$

Dónde:

A = Área (m²)

L = Longitud de la sección transversal del canal (m)

d = tirante promedio (m)

Sumatoria del área de la sección transversal del canal

Calcular el área de la sección transversal (A_t) como el producto del tirante medio (d) y L ancho de la franja (a).

$$A_t = A_1 + A_2 + \dots A_n = m^2 \quad (3)$$

Dónde:

A_t = Sumatoria del área total de la sección transversal del canal (m²)

A_n = Área calculada por cada sección transversal del canal (m²)

Gasto del cauce

El caudal se obtiene multiplicando el área (m²) por la velocidad (m/s) del agua que fluye en la sección transversal del canal.

$$Q = A * v = m^3/s \quad (4)$$

Dónde:

Q = Caudal m^3/s

A = Área total de la sección transversal del canal (m^2)

v= Velocidad observada en el molinete (m/s)

Coeficiente de cultivo.

- **Fase inicial**

El valor del coeficiente del cultivo, para la etapa inicial y de crecimiento fue determinado a partir de las Figuras (29 y 30), las cuales presentan estimaciones del valor de Kcini en función de los eventos de humedecimiento, poder evaporante ETo y la magnitud del evento de humedecimiento, aplicando la siguiente fórmula.

$$Kc_{ini} = Kc_{ini (Fig.29)} + \frac{(I-10)}{(40-10)} [Kc_{ini (Fig.30)} - Kc_{ini (Fig.29)}] \quad (5)$$

En dónde:

Kc ini (Fig.29) valor de Kc ini correspondiente a la Figura 29

Kc ini (Fig.30) valor de Kc ini correspondiente a la Figura 30

La lámina infiltrada promedio [mm].

- **Fase medio**

Para realizar el ajuste del Kc medio, se utilizó los valores de clima de la zona de estudio, como son: HRmin (%) y Velocidad del viento (u_2) sea mayor o menor a 2,0 m s-1.

El Kc medio se obtuvo con la fórmula:

$$Kc_{medio} = Kc_{medio (cua)} + [0.04 (u_2 - 2) - 0.004 (HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (6)$$

En dónde:

U_2 = Valor medio diario de la velocidad del viento a 2 m de altura sobre pasto para la etapa de mediados de temporada [m/s], con $1\text{ m/s} \leq u_2 \leq 6\text{ m/s}$.

HRmin = Valor medio diario de humedad relativa mínima durante la etapa de mediados de temporada [%], para $20\% \leq \text{HRmin} \leq 80\%$.

h = Altura media de las plantas durante la etapa de mediados de temporada [m] para $0,1\text{ m} < h < 10\text{ m}$.

- **Fase final**

$$Kc_{\text{fin}} = Kc_{\text{fin(cua)}} + [0.04 (u_2 - 2) - 0.004 (HR_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3} \quad (7)$$

En dónde:

U_2 = Valor promedio de la velocidad del viento a 2 m de altura sobre pasto durante la etapa de crecimiento [m/s], para $1\text{ m/s} \leq u_2 \leq 6\text{ m/s}$.

HRmin = Valor medio diario de humedad relativa mínima durante la etapa final [%], para $20\% \leq \text{HRmin} \leq 80\%$.

h = Altura media de las plantas durante la etapa de mediados de temporada [m] para $0,1\text{ m} \leq h \leq 10\text{ m}$.

Evapotranspiración del cultivo (ETc).

El Kc del cultivo se ajustó con el manual de la FAO, 56 para cada cultivo objeto del estudio con parámetros local de la zona de estudio.

$$ETc = ET_0 \times Kc \quad (8)$$

Dónde:

ETc: Evapotranspiración cultivo (mm/día)

ET₀: Evapotranspiración Potencial (mm/día)

Kc: Coeficiente del Cultivo

2.2 Variables.

2.2.1 Variables Independientes.

- Caudal del sistema de riego (m^3/s)
- Uso consuntivo

2.2.2 Variable Dependiente.

Oferta hídrica del Sistema de Riego Milagro Mariscal Sucre.

2.2.3 Operacionalización de las variables.

TIPO DE VARIABLE		DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
INDEPENDIENTE	Caudal del sistema de riego	El caudal del sistema de riego (m^3/s) es la cantidad de fluido que pasa a través de una sección transversal del canal (m^2) multiplicado por la velocidad del fluido (m/s)	Caudal del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre	Característica geométrica e hidráulica al inicio del canal principal y su aforo del caudal con molinete electrónico.	Cuantitativa	Metro, regla topográfica, molinete Global Water, GPS y planilla de registro
	Evapotranspiración del cultivo (ETc) o uso consuntivo	La evapotranspiración del cultivo (ETc) es el producto entre la evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo) y coeficiente único del cultivo (Kc).	Evapotranspiración de los principales cultivos del área de influencia.	Uso consuntivo para el cultivo. Planilla meteorológica de la estación Milagro (M0037)	Cuantitativa	Informe del resultado del software CROPWAT.
DEPENDIENTE	Oferta hídrica	La oferta hídrica es la cantidad de agua que puede captar y distribuir hasta el predio de los usuarios.	Oferta hídrica del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre.	Capacidad de transportar un determinado volumen del recurso hídrico (m^3/s)	Cuantitativa	Canal de riego y molinete

2.3 Población y Muestra.

2.3.1 Población.

La población del estudio es la superficie total bajo riego de 11,143.00 hectáreas cultivadas con caña de azúcar, cacao, banano, plátano, maíz y arroz, además de las 4 captaciones de agua del sistema de riego Milagro que son mediante el canal C, D-1, D-2 y M.

2.3.2 Muestra.

Se consideró para la muestra, el área total bajo riego con sus principales cultivos y las 4 captaciones del sistema de riego Milagro.

2.4 Técnica de recolección de datos.

La trabajamos en las siguientes etapas:

Etapa de planificación

En esta etapa se definió la planificación que se iba realizar para lograr los objetivos de la investigación:

- Se determinó los datos que se iba recolectar en el campo.
- Se definió la escala de medición para cada variable.
- Se seleccionó los equipos e instrumentos necesarios para realizar el levantamiento de datos.
- Se precisó las técnicas y métodos para el manejo correcto de los equipos e instrumentos que se empelo.

Etapa de ejecución

En esta etapa de la investigación se llevó a cabo las acciones antes planificadas y paralelamente se procesó y contrastó la información hallada en campo y de igual manera la redacción en base al resultado y la información bibliográficos.

Etapa de verificación.

En esta etapa se procesó la información levantada en campo y comprobó su validez y confiabilidad para garantizar la objetividad de los hechos reales.

Técnicas empleadas para la obtención de datos.

La entrevista.

Para el desarrollo del levantamiento de información sobre el objeto de la investigación, se dialogó con el personal administrativo de la Junta de Riego Mariscal Sucre, usuarios y servidores públicos del Ministerio de Agricultura y otras instituciones que tiene competencia en materia de riego, para que provea la información.

El registro.

Se recogió la mayor cantidad de información disponible con referente a las variables del objeto del estudio de forma sistemática.

Instrumentos empleados para la recolección de datos

El cuestionario

Se formularon solo dos preguntas claves:

- ¿Qué tipo de cultivo realiza?
- ¿Qué método de riego emplea?

Planillas de recolección de datos

Se emplearon dos:

- Planilla para registrar las coordenadas geográficas de cada tramo de todos los canales de riego para su posterior trazado en los planos.
- Planilla para registrar las secciones transversales del canal, datos de aforo del caudal y la coordenada geográfica de cada muestra.

Base de datos

Se usó una base de datos existente con información relevante para el objeto del estudio en diferentes instituciones relacionado al riego.

2.5 Estadística descriptiva e inferencial.

En éste trabajo de investigación, se usó la estadística descriptiva de tendencia central (media, mediana y moda) para tabular los datos obtenidos en el levantamiento de la información y se presentó los resultados mediante gráficos descriptivos organizados para una fácil comprensión.

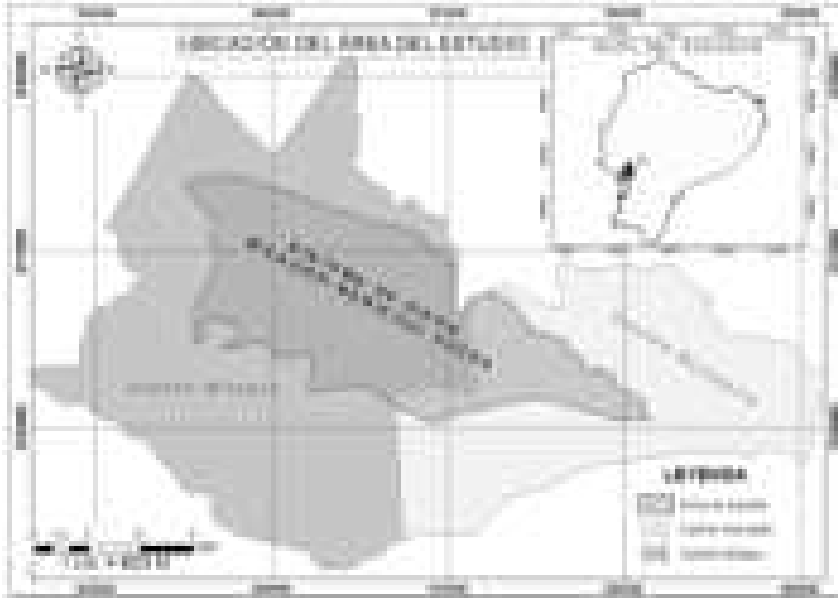
2.6 Cronograma de actividades.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6			
	1 semana	2 semana	3 semana	4 semana	1 semana	2 semana	3 semana	4 semana	1 semana	2 semana	3 semana	4 semana	1 semana	2 semana	3 semana	4 semana	1 semana	2 semana	3 semana	4 semana	1 semana	2 semana	3 semana	4 semana
Selección del tema.	X																							
Recopilación de información bibliográfica.		X																						
Desarrollo e inscripción del anteproyecto de tesis.		X	X																					
Sustentación del anteproyecto.				X																				
Aprobación del anteproyecto					X																			
Levantamiento de información del canal C y aforo del caudal.						X	X	X	X															
Levantamiento de información del canal D-1 y aforo del caudal.										X														
Levantamiento de información del canal D-2 y aforo del caudal.											X													
Levantamiento de información del canal M-1, M-1-1 y M-1-2 y su aforo del caudal.												X												
Levantamiento de información de los cultivos.						X	X	X	X	X	X	X												
Visita de las instituciones públicas para buscar información del sistema de riego Milagro (MAG, SENAGUA, PREFECTURA DEL GUAYAS).													X	X	X									
Análisis de la información.						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Desarrollo de los contenidos de las unidades de la tesis.						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
Revisión y ajuste del contenido con el director de la tesis.									X			X			X			X			X			
Corrección del contenido de unidades de la tesis.										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				
Aprobación de la tesis por parte del director																						X		
Solicitud del tribunal de sustentación																						X		
Sustentación de la tesis.																							X	
Corrección de las observaciones realizada por el tribunal de sustentación																						X	X	
Entrega del trabajo empastado																							X	X

RESULTADOS

3.1 Línea base del estudio.

3.1.1 Ubicación geográfica del estudio.



Mapa N° 1. Ubicación Geográfica del área de estudio.

Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: El Autor, 2021.

El mapa N°1, indica que el área de estudio se localiza entre el cantón Milagro y Naranjito, entre las coordenadas UTM ($X=650000$ $Y=9770000$) y ($X=690000$ $Y=9760000$), Datum WGS1984, Zona 17 M, a una altura de 13 m.s.n.m, de la zona costera Occidental y se encuentra dentro de los límites de la Cuenca Baja del Río Guayas y Subcuenca del Río Chimbo, el perímetro de análisis está colindado al Norte con el estero Verde, al Sur con el ferrocarril Naranjito, al Este con el estero Anapoyo y al Oeste con la Hacienda San Miguel.

3.1.2 Clasificación Ecológica.

Según la clasificación de la zona de vida de Holdridge, el área de estudio corresponde a la zona de climática Tropical Megatérmico Semi-Húmedo.

3.1.3 Características del sistema de riego

El área de influencia de la investigación tiene un total de 20,000 hectáreas, de las cuales son aptas para riego 11,300 hectáreas, y hasta la presente fecha se ha determinado que 98.61% ya está bajo riego y beneficiando a 1,500 familias.

La captación inicia con una toma lateral en el costado derecho del río Chimbo, en la siguiente coordenada UTM, X=683719 y Y=9758630, la infraestructura se ha construido con el mismo material del río, de una altura de 2.50 m aproximadamente para elevar el nivel del agua en el río Chimbo y este caudal sea derivado hasta el canal San Antonio y posteriormente continua por el estero Anapoyo y esté caudal es distribuido una tercera parte para el ingenio San Carlos, la misma que es controlada mediante compuertas metálicas que están ubicado en la siguiente coordenada UTM, X= 683199 y Y=9758731.

El caudal restante es conducido por el estero Anapoyo y es derivado a las parcelas de los usuarios mediante la red de canales principales, secundario, terciario y cuaternario, el volumen de agua que pasa del canal principal a los canales secundarios son controlado mediante la apertura y cierre de compuerta metálica.

La infraestructura capacidad del sistema de riego Milagro – Mariscal Sucre están ubicados en el lateral del estero Anapoyo, en la siguiente coordenada UTM:

Canal C: X=677590, Y= 9763934

Canal D-1: X= 68190, Y= 9760338

Canal D-2: X= 679292, Y 9762823

Además, un porcentaje del caudal de las dos terceras partes es conducido por el río Milagro y es captado mediante la bocatoma del canal M, que se ubica en el costado del río Milagro, en la siguiente coordenada UTM.

Canal M-1: X= 663517, Y= 9765676

3.1.4 Técnicas de riego

El método de riego predominante en el área de estudio es superficial para todos los cultivos y un mínimo porcentaje de usuarios emplean otras técnicas de aplicación de riego (Plan de desarrollo y ordenamiento Naranjito, 2014).

3.1.5 Red de canales del sistema de riego



Mapa N° 2. Red de canales principales, secundarios y terciarios.

Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: El Autor, 2021.

El mapa N°2, indica la distribución de los canales, iniciando en el río Chimbo con el canal San Antonio, luego continúa con el estero Anapoyo hasta desembocar el caudal en el río Milagro. El caudal captado en el río Chimbo se reparte para el Ingenio San Carlo, sistema de riego Milagro Marisca Sucre (canal C, D-1, D-2 y M) y el caudal sobrante continúa por el cauce del río Milagro, se encontró que los canales están en buen estado desde la boca toma hasta el último canal cuaternario y todos son construidos con hormigón simple, con excepción del canal que va hacia el ingenio Valdez (M-1)

3.1.6 Zonas de riego

Tabla N° 1. Juntas modulares del sistema de riego Milagro

Zonas	Juntas modulares
zona I	Junta Modular Supaypungo
zona II	Junta Modular Naranjito y Manantial
zona III	Junta Modular María Isabel
zona IV	Junta Modular Galápagos, Chaparral y Vuelta del Piano
zona V	Junta Modular América Pérez y Mariscal Sucre
zona VI	Junta Modular Río Milagro, Palmares, La Libertad y Atahualpa
zona VII	Junta Modular María Mercedes

Fuente: INAR (2009).

Elaborado por: El Autor, 2021.

En la tabla N°1. Indica que el área de estudio está conformada por siete zonas de riego, distribuidos en toda la superficie del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre. Las siete zonas de riego lo integran las 13 juntas modulares que son Vuelta del Piano, María Mercedes, La libertad, Río Milagro, Naranjito, Manantial, Chaparral, Mariscal Sucre, Atahualpa, Galápagos, Palmares, María Isabel, América Pérez y Supaypungo (DIRDRA, 2015).

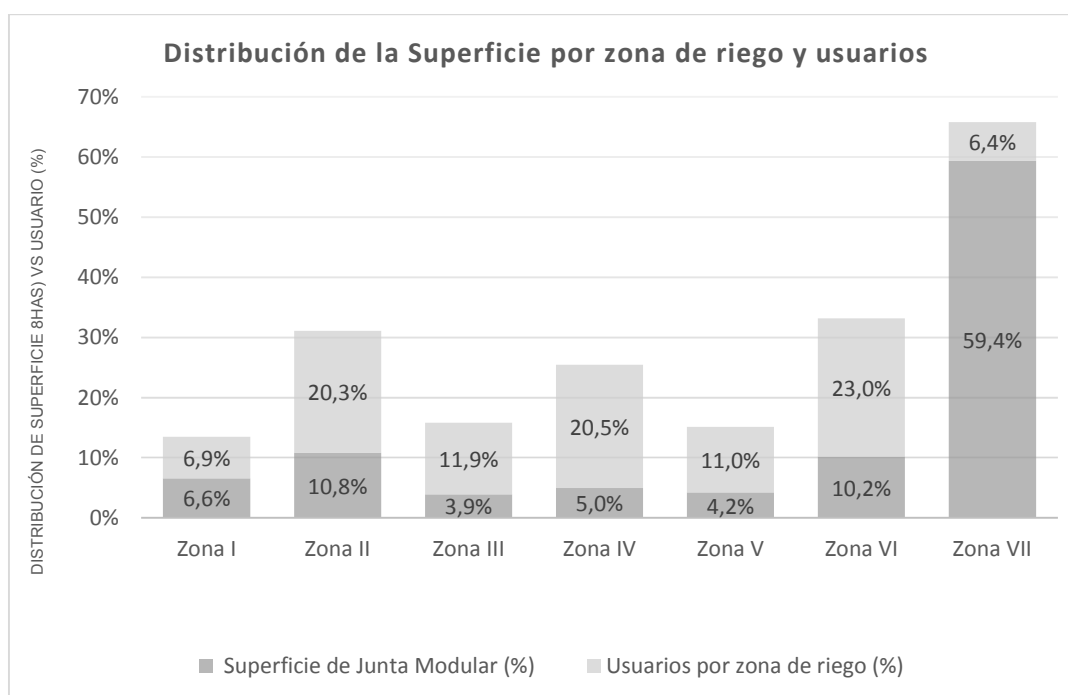


Gráfico N° 1. Superficie por zonas de riego y usuarios.

Elaborado por El Autor, 2021.

El gráfico N°1, enfatiza la distribución de la superficie del sistema de riego Milagro por zonas de riego y números de usuarios beneficiados.

3.1.7 Diagnóstico biofísico

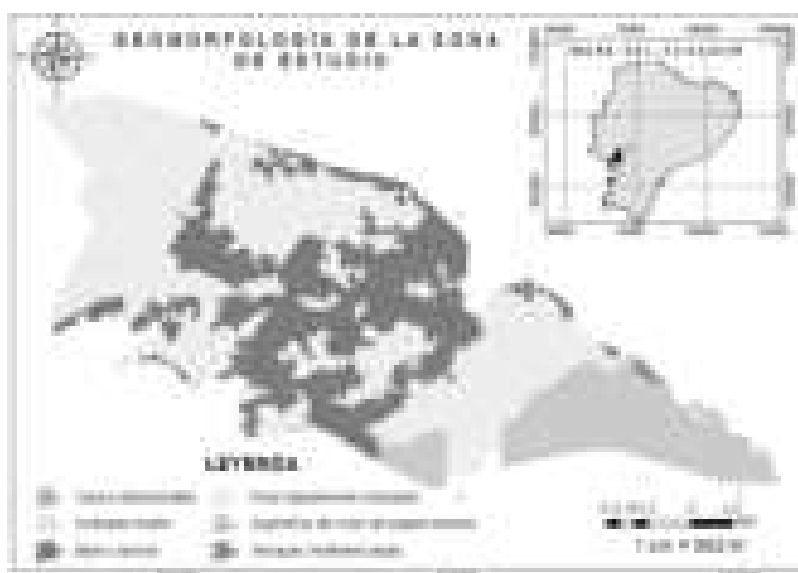
3.1.7.1 Geología

El área de estudio se ha forma de los depósitos Aluviales de origen cuaternario formando la depresión de la cuenca del Río Guayas, por la acumulado lentamente con sedimentos erosionado de la cordillera de Los Andes, que han sido arrastrado por las corrientes hídricas de los cauces presente en la zona de estudio.

La distribución y ubicación de estos sedimentos por capa en la parte baja, dan lugar a la formación de la llanura orientales y estos suelos continúan enriqueciendo cada día con nuevos aportes de materiales erosionados en la cordillera occidental de Los Andes, volcánicos que son arrastrado y ubicado en la parte baja.

Paralelamente el fenómeno de meteorización, van acondicionando los materiales producto de arrastre y sedimentación en compuestos granulométrico adecuado la producción agrícola.

3.1.7.2 Geomorfología



Mapa N° 3. Geomorfología del área del estudio

Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: El Autor, 2021.

El mapa N°13, indica que la geomorfología del área de estudio presenta una llanura Aluvial reciente en mayor porcentaje y el piedemonte Andino en menor proporción de origen deposicional de sedimento, la zona tiene cota menor a 65 m.s.n.m. con pendiente no mayor al 5% con mínima ondulación y predomina el suelo arcilloso y seguido por el suelo franco que son ideal para la producción de caña de azúcar, cacao, banano y otro cultivo tropical. Además, se evidencia cauces activos y abandonados.

Adicionalmente, presenta bancos aluviales junto a los principales cauces que son explotados con la producción de caña de azúcar, cacao y otro cultivo tropical.

3.1.7.3 Topografía

El área de estudio evidencia una topografía plana con mínima pendiente que no sobre pasa el 5% de la gradiente, favoreciendo al empleo del riego por el método de gravedad e inundación. Los suelos con mínima pendiente transversal de uno y medio por mil ($1.5/000$) y longitudinalmente de 3 hasta 15 por mil ($1 - 15/000$) son adecuado para emplear el riego por inundación para el cultivo de arroz y por surco para el cultivo de cacao, caña de azúcar, maíz y otros.

3.1.7.1 Recursos hídricos



Mapa N° 4. Mapa hidrográfico de la zona de estudio

Fuente: MAGAP, 2015

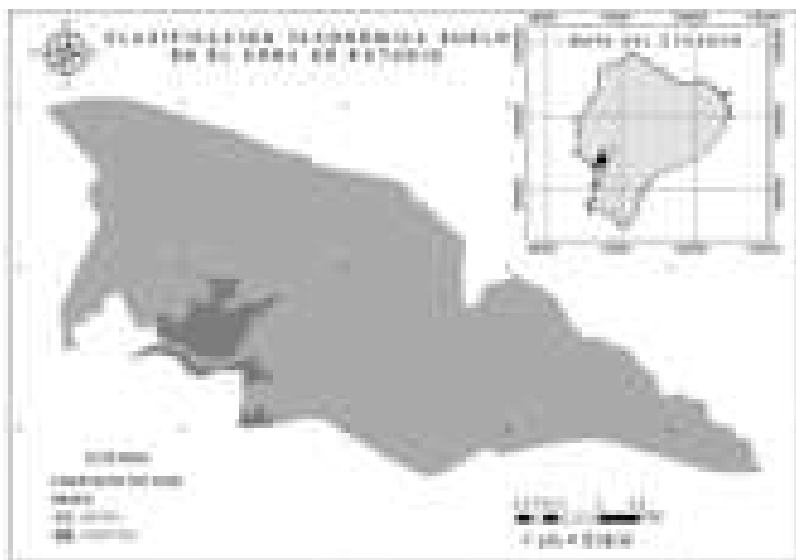
Elaborado por: El Autor, 2021.

El mapa N°14, indica sobre la cantidad de ríos y esteros que existen en el área de influencia, entre ella está el río Chimbo con un recorrido de 23 km de longitud, en la que se está ubicado la bocatoma de captación de agua para el sistema de Riego Milagro – Mariscal Sucre, el río Milagro que tiene una longitud de 6 km, en la que se ubica en la infraestructura de captación para el canal de riego M. Así también está el estero Anapoyo que sirve de conducción del agua captada en el río Chimbo hacia el río Milagro. Los esteros que existen dentro del área de estudio pasan secos en época de verano y en temporada de invierno sirven de drenaje natural, entre ella está el estero Moja Huevo, Los Monos, El Guachi, Chorrón, Chirijos, Carrizal, Galápago, Papayal, Capacho y estero Verde.

3.1.7.4 Hidrología

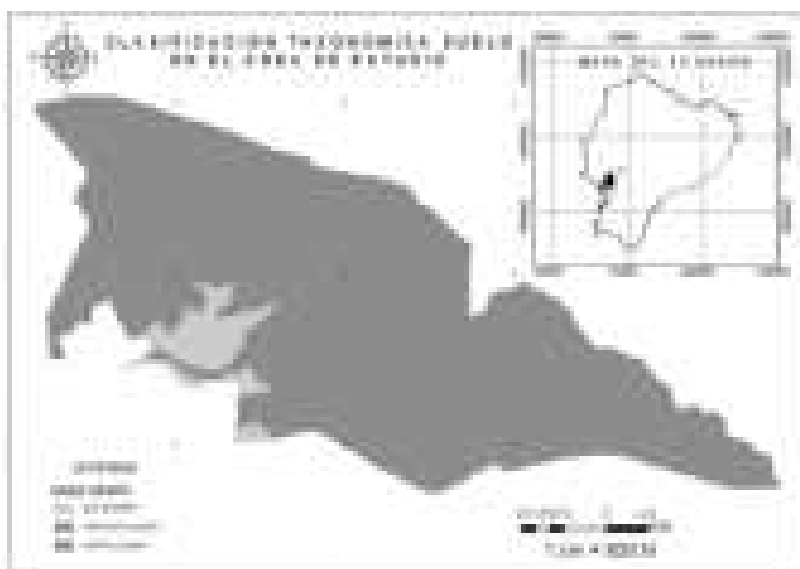
Los principales ríos en la zona de estudio es el Chimbo y el Milagro que mantiene un caudal en época de estiaje. El río Chimbo se origina en la cordillera de los Andes y desciende repartiendo su caudal para los deferentes usos consuntivos de uso agrícola y consumo humano, llegando hasta la planicie de la zona de Naranjito y Milagro.

3.1.7.5 Suelo y relieve en el área de influencia



Mapa N° 5. Clasificación taxonómica del suelo por Orden
Fuente: MAGAP, 2015
Elaborado por: El Autor, 2021.

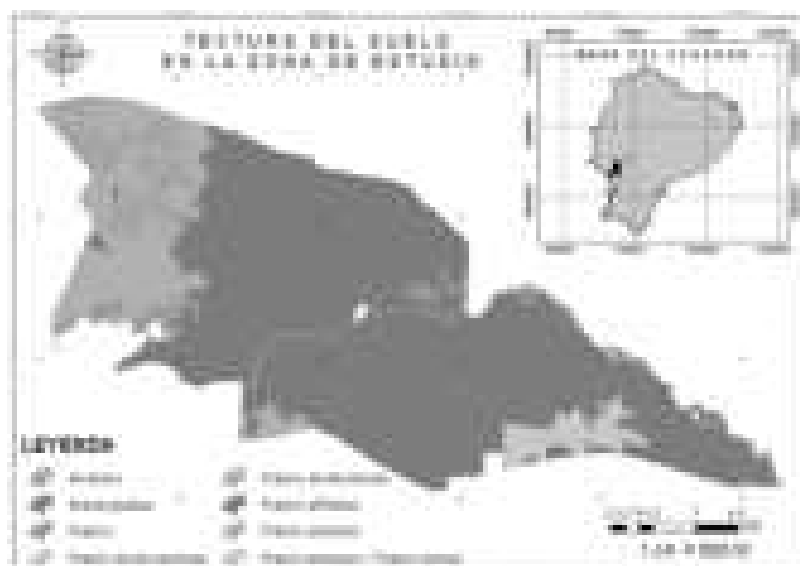
Con el mapa N°5, se evidencia que el suelo del área de estudio se clasifica taxonómicamente en el orden de Entisol e Inceptisol, la textura del Entisoles tiene una granulometría modernamente fina y el orden del Inceptisol presenta un alto porcentaje de arcilla. El área de la influencia tiene el 93% del suelo del orden Entisol, que son materiales de posición aluviales reciente que se clasifican en Suborden Fluvent, que son de topografía plana y con mínima pendiente, el contenido de materia orgánica varía en función del espesor del suelo.



Mapa N° 6. Clasificación taxonómica del suelo por Gran Grupo
Fuente: MAGAP, 2015
Elaborado por: El Autor, 2021.

El mapa N°6, indica la clasificación del suelo en Grande Grupo Tropofluvent que presentan suelos húmedos por lo general y con temperatura térmica aproximada de 25°C en época de verano.

Los suelos varían de orden taxonómico dentro de la misma área de estudio y en el mapa N°5 se evidencio también el suelo de orden Inceptisol y el suborden es el Tropept y pertenece al Grande grupo Eutropept que tiene la siguiente característica que son suelos húmedos, arcilloso de origen volcánico, topografía plana con desnivel menor al 5% y de régimen térmico entre el 25°C y el porcentaje de saturación esta entre el 70%.



Mapa N° 7. Textura del suelo en la zona de estudio

Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: El Autor, 2021.

En el mapa N°7, se ve que el suelo pertenece a materiales Aluviales de clase II y III con profundidad media y poca pedregosidad en su conformación, dando origen a un suelo fértil, aptos para la producción de los cultivos tropicales. Toda la zona de influencia está formada por suelo franco arcilloso con una infiltración básica de 8mm/hora.

Tabla N° 2. Textura del suelo de la zona de estudio.

H	P (cm)	Textura			Clase Textura	C. E. dS/m	D. a. g/cm3	PMP %	CC %
		Limo %	Arcilla%	Arena %					
1	0-30	17	60	23	Arcilloso	0,250	1,70	23.54	33.90
2	30-55	20	36	26	Franco Arcilloso	0,031		16.91	30.00
3	55-85	21	64	15	Arcilloso	0,030		19.40	29.43
4	85-120	16	43	41	Arcilloso	0,038		25.90	33.60

Fuente: SIGAGRO (2009)

La tabla N°2, comprende la formación granulométrica de la textura del suelo a diferentes profundidades (30, 55, 85 y 120 cm) y el contenido del porcentaje de arena, arcilla y limo, además de la conductividad eléctrica, porcentaje de capacidad de campo y punto de marchitez y por último la densidad aparente global.

Del tipo de textura del suelo, depende la retención de humedad, aireación, permeabilidad, profundidad de las raíces, los suelos arcillosos tienen la capacidad de almacenar agua en su porosidad en mayor volumen en comparación con los de textura arenosa, esta agua almacenada es aprovechada por el cultivo, lo que significa que el suelo es apto para la explotación agrícola.

Peso específico aparente (Pea)

El valor del peso seco de la muestra de suelo, de la zona de estudio es 125.8 (g) y el volumen de la muestra fue de 100.31 (cm³).

$$Pea = \frac{125.8 (g)}{100.31 (cm^3)} = 1.25 g/cm^3$$

$$Pea = 1.25 g/cm^3$$



Mapa N° 8. pH del suelo en la zona de estudio

Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: El Autor, 2021.

Según el mapa de N°8 indica que la mayor parte del suelo de la zona de estudio tiene un potencial de hidrogeno (pH) neutro, seguido por un pH ligeramente ácido y un mínimo porcentaje de la superficie es medianamente ácido, por lo indicado, no será necesario agregar una fracción adicional de agua para el lavado de las sales (Fernández P. , 2012).

3.1.7.6 Balance hídrico de la zona de estudio

Se determinó el balance hídrico climático de la zona de estudio para tener una aproximación de los meses con disponibilidad de agua en el lugar. Para el cálculo se ha empleado el método de Thornthwaite, usando el software InnerSoft - Balance Hídrico v0.7 y los datos de precipitación (P) y evapotranspiración (ETP) mensual de la estación meteorológica Milagro M0037 (Ingenio Valdez).

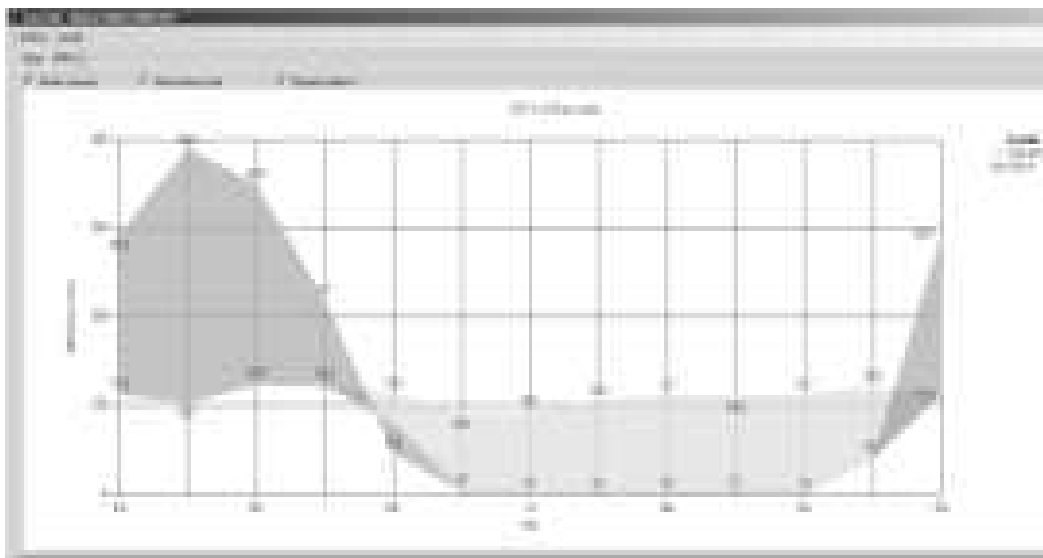


Figura N° 1. Balance Hídrico de la zona de estudio.
Elaborado por: El Autor, 2021.

El Balance Hídrico por Thornthwaite, indica que en la zona de estudio presenta una deficiencia de 722.20mm/año, inicia en el mes de abril y se extiende hasta el mes de enero, así también se nota en la figura N°1 que hay abundancia de lluvia en los meses de enero hasta abril. En los meses de lluvia, se debe considerar el drenaje en el área de estudio y en época de sequía, dar aporte de agua mediante láminas de riego.

Según Estupiñán (2016), indica que el periodo para riego en la zona de estudio es del mes de abril hasta inicio del mes de enero.

Índice de escasez

Para determinar el índice de escasez de la zona de estudio, se empleó los valores obtenidos en el Balance Hídrico Climático. El valor de la evapotranspiración potencial (ETR) es de 1311 mm y la precipitación (P) fue 1342.3mm.

$$Ie = \frac{(ETR)}{(P)} * 100 = \%$$

$$Ie = \frac{1311}{1342.3} * 100 = 97.67 \%$$

$$Ie = 97.67 \%$$

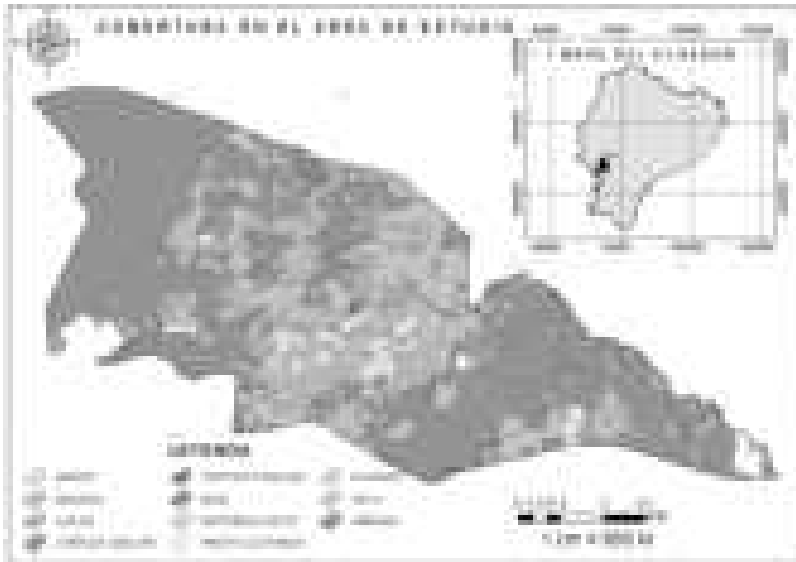
El índice de escasez del recurso hídrico en la zona de estudio es alto en época de verano y demanda que la Junta de riego mantenga una operación de distribución del recurso hídrico en la adecuada para satisfacer las necesidades de los cultivos.

Según Carchi (2015), concluyo que el balance hídrico y el índice de escasez, es la relación entre la oferta y demanda hídrica de una cuenca o un sistema de riego comunitario, esta relación permite conocer la existencia de déficit o exceso del recurso hídrico para satisfacer las necesidades de los cultivos.

3.1.7.7 Uso y cobertura del suelo

El área de influencia del estudio posee una superficie de 11,143.00 hectáreas (Ver tabla N° 4) cubierta por los principales cultivos anuales y semipermanentes.

El cultivo predominante en el área de son: Caña de azúcar, banano, cacao, maíz y plátano (Ver mapa N° 9), esta importancia se da por el valor económico que representa para los agricultores de la zona.



Mapa N° 9. Cobertura del suelo en la zona de estudio.
Fuente: MAGAP, 2015
Elaborado por: El Autor, 2021.

Otros cultivos presentes en la zona de estudio, con área relativamente pequeña son: maní, tabaco, yuca, soya, maracuyá, pimienta, piña, mango, café, uva, guanábana, naranja, mandarina, limón y aguacate.

Así también, están presentes otro tipo de categoría en el uso y cobertura del suelo en la zona de estudio y ella son: vegetación natural, vegetación herbácea, infraestructura vial, red de canales para riego y área no apta para riego.

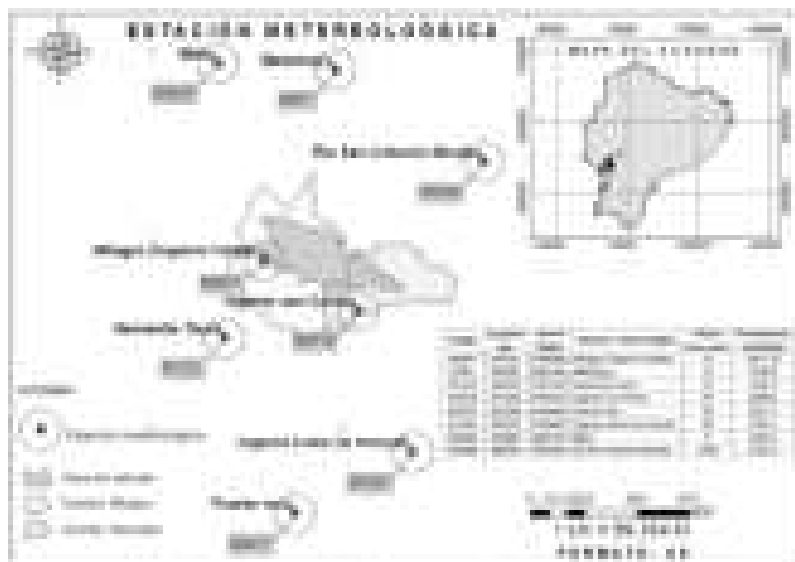
Tabla N° 3. Principales cultivos en la zona de estudio.

Cultivos	Superficie (Has)	Porcentaje (%)
Caña de azúcar	9,213.03	82.68%
Banano	1,197.87	10.75%
Cacao	501.44	4.50%
Maíz	142.63	1.28%
Arroz	45.57	0.41%
Plátano	42.34	0.38%
Total	11,143.00	100.00%

Fuente: INAR (2009)
Elaborado por: El Autor, 2021.

En la tabla N°3, indica que el cultivo de la caña de azúcar demanda el mayor porcentaje de agua para su producción y ocupa la mayor área de la zona de estudio. De igual manera se contrasta con el mapa de cobertura del uso de suelo del sistema de riego Milagro.

3.1.7.8 Clima



Mapa N° 10. Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas.

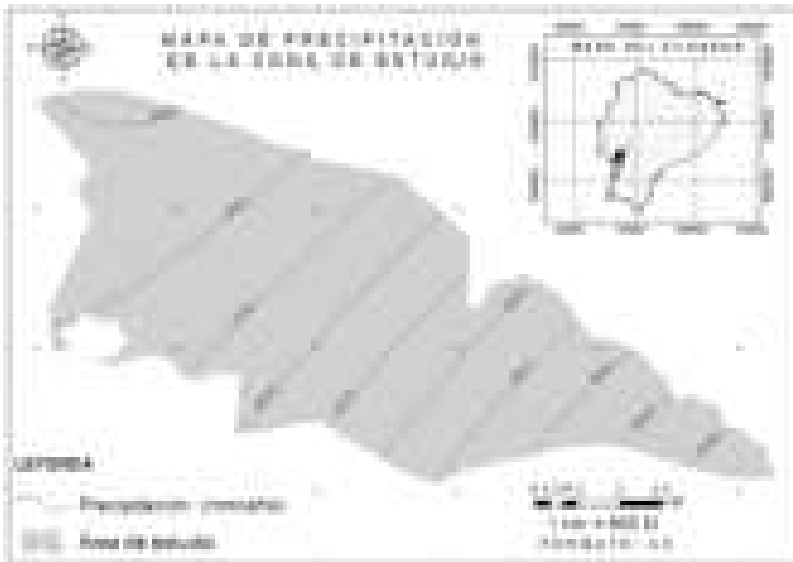
Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: El Autor, 2021.

Se halló que el área de estudio se ubica astronómicamente en la zona tórrida, dando la influencia a la estación climática lluviosa y seca, en la zona de clima Tropical Megatérmico Húmedo.

3.1.7.8.1 Mapa de precipitación anual.

Con respecto a la precipitación halla en la zona de Naranjito, según el mapa de precipitación N°11, las cursa isoyeta indican que hay 2,000 mm anual de lluvia por el Ingenio Valdez y se va incrementando de 80 mm por cada línea de isoyeta, hasta llegar a Naranjito con una precipitación de 2,720mm por año.



Mapa N° 11. Mapa de precipitación anual de la zona de estudio.
Fuente: MAGAP, 2015
Elaborado por: El Autor, 2021.

El mapa de precipitación, indica que existe una variación de 26.47% en cuanto al análisis de la isoyeta en la misma área de influencia (Gypsicons, 2020).

3.1.7.8.2 Precipitación

Se identificó la estación meteorológica de Milagro (Ingenio Valdez) por estar ubicada en el área de estudio que corresponde a la zona de Milagro. Los datos de precipitación proporcionados por la estación M0037, corresponden al promedio acumulado desde 1965 hasta el año 2015.

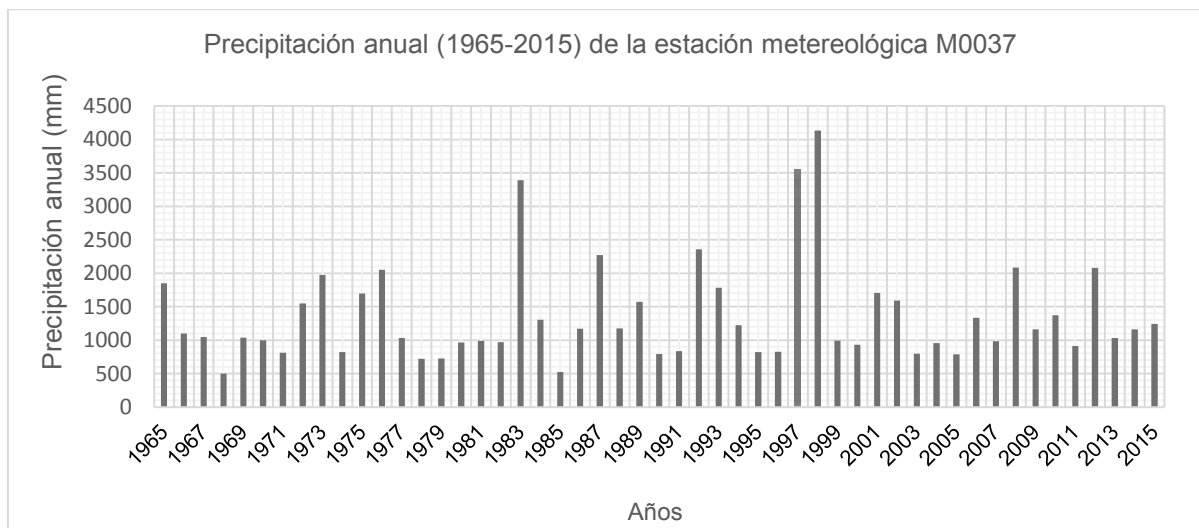


Gráfico N° 2. Precipitación histórica anual del área de estudio (1965-2015)
Elaborado por: El Autor, 2021.

Se puede observar en el gráfico N°2, la pluviosidad anual en la zona de estudio es variable, en el año de 1,999 alcanzó 4,130.40mm, muy por encima de lo normal, de igual manera se observa para el año 1,997 y 1,983.

Por otra parte, el volumen de precipitación se concentra el 93% en los cuatro meses inicial del año (enero-mayo) y 7% se distribuye en los siguiente 8 meses (mayo- diciembre).

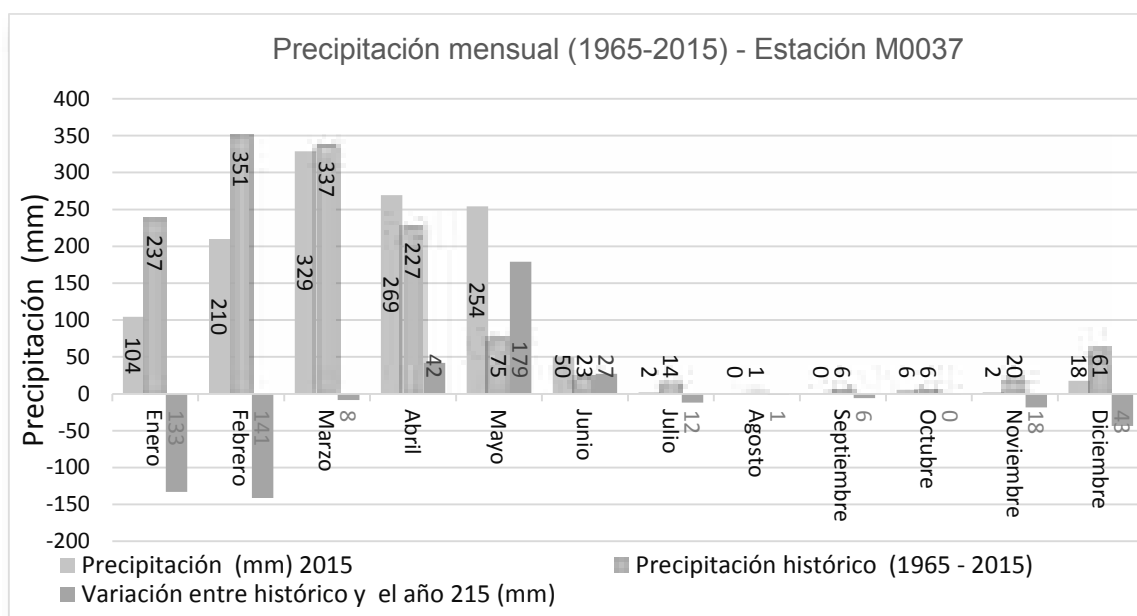


Gráfico N° 3. Variación de la precipitación mensual en el área de estudio (1965-2014)
Elaborado por: El Autor, 2021.

De acuerdo con el gráfico N°3, la precipitación máxima se presenta en los meses de febrero (26.15%) y marzo (25.11%), en esta época de invierno los agricultores demandan de un adecuado sistema de drenaje para evacuar el exceso de agua del área de producción.

La temporada de verano en la zona de estudio inicia en el mes de mayo hasta el mes de diciembre, corresponde a 8 meses de ausencia de aporte de precipitación para los cultivos.

3.1.7.8.3 Temperatura

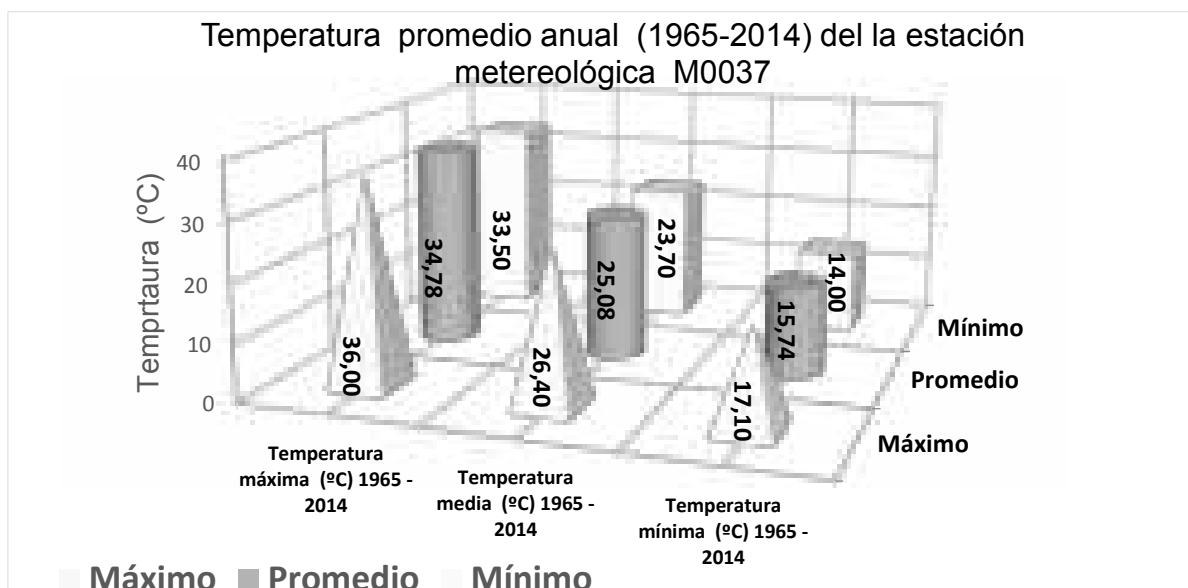


Gráfico N° 4. Temperatura promedio mensual (1965-2014) de la estación Milagro M0037. Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°4, indica que la temperatura media anual registrada en el periodo de 1,965 al 2,014 fue de 25.08°C respectivamente; el mes más cálido fue según el gráfico N°5 resultó ser enero, con temperaturas medias mensuales de 25.80°C y el mes con temperatura más baja fue en julio, llegando hasta 23.70°C.

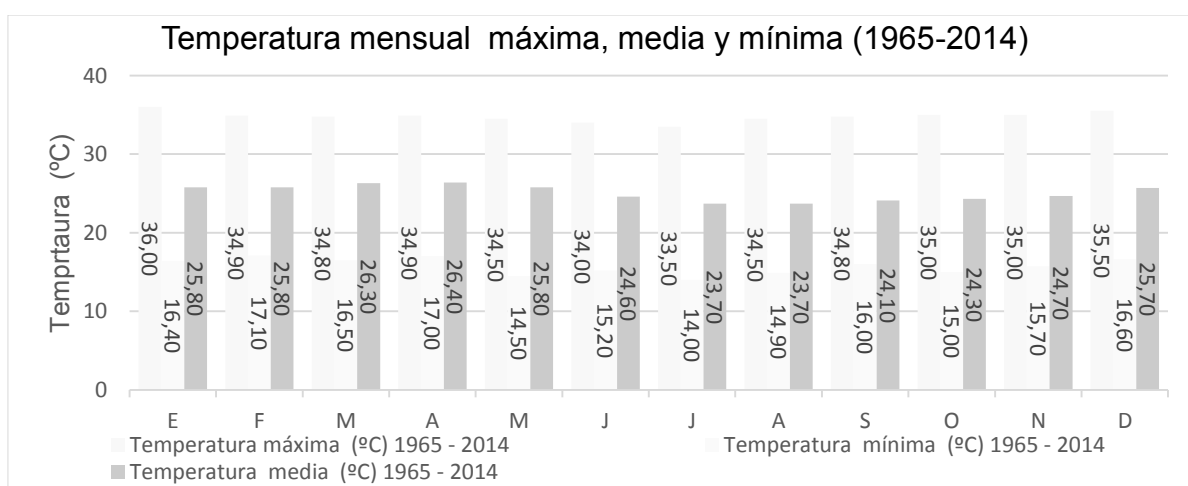
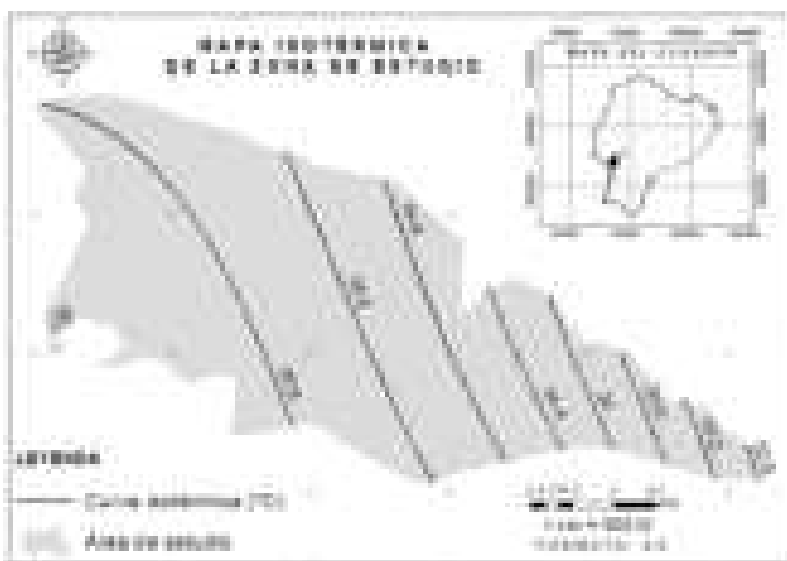


Gráfico N° 5. Temperatura promedio anual (1965-2014) de la estación meteorológica Milagro Valdez (M0037). Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°5, indica que, la temperatura promedio mensual en época de invierno es cálido y el periodo de verano es moderadamente frío, generando una fuerte variación en el valor del uso consuntivo para los cultivos y de igual manera se ha visto variación de la oferta hídrica. La estación climática invernal, inicia a mediados de diciembre y finaliza a mediados de mayo y no hay necesidad de regar, y el resto de la temporada corresponde a la época de alta luminosidad y ausencia de precipitación.

3.1.7.8.4 Mapa isotérmico.

Debido a la ausencia de la información meteorológica en la zona de Naranjito, se desarrolló el mapa isotérmico para caracterizar la temperatura con los parámetros climáticos de la red meteorológica e hidrológica de INAMHI, tomando la información base de las 8 estaciones meteorológicas más cercana al área de influencia del estudio.



Mapa N° 12. Mapa isotérmico de la zona de estudio.

Fuente: MAGAP, 2015

Elaborado por: El Autor, 2021.

Según el mapa N°12, se aprecia que la temperatura en la zona de influencia varía entre la zona de Milagro y Naranjito. La curva isoyeta ubicada entre los dos extremos del mapa isotérmico, marcan una diferencia de distribución espacial de 3.2°C que corresponde a 8.89% de variación de la temperatura máxima.

3.1.7.8.5 Humedad relativa

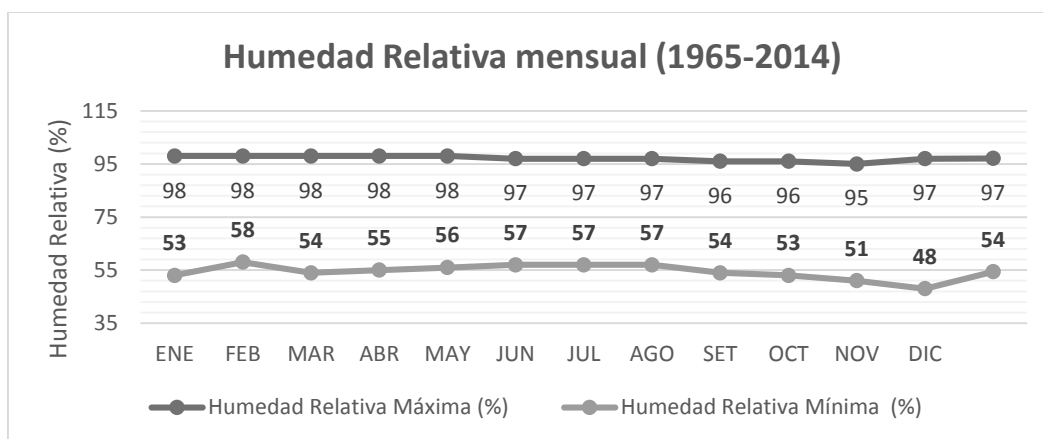


Gráfico N° 6. Humedad reparativa mensual del área de estudio (1965-2014)

Fuente: INAMHI, Estación meteorológica Milagro (Ingenio Valdez)

Elaborado por: El Autor, 2021.

De acuerdo el gráfico N°6, la humedad relativa de la estación meteorológica Milagro Valdez (M0037), la curva de distribución presenta una ligera variación en los meses de junio a noviembre que corresponde a época de verano y en temporada invernal es constante, este factor de humedad relativa interviene en la estimación de la evapotranspiración de referencia (ET_o) para el cálculo del uso consuntivo (FAO, 2006), en general si otros factores permanecen constantes, cuando la presión del vapor es mayor, será más lenta la transpiración, si los estomas están abierto, la difusión del vapor de agua de las hojas dependerá de la diferencia entre la presión de vapor de agua en los espacios intercelulares y la presión de la humedad relativa atmosférica.

3.1.7.8.6 La heliofanía

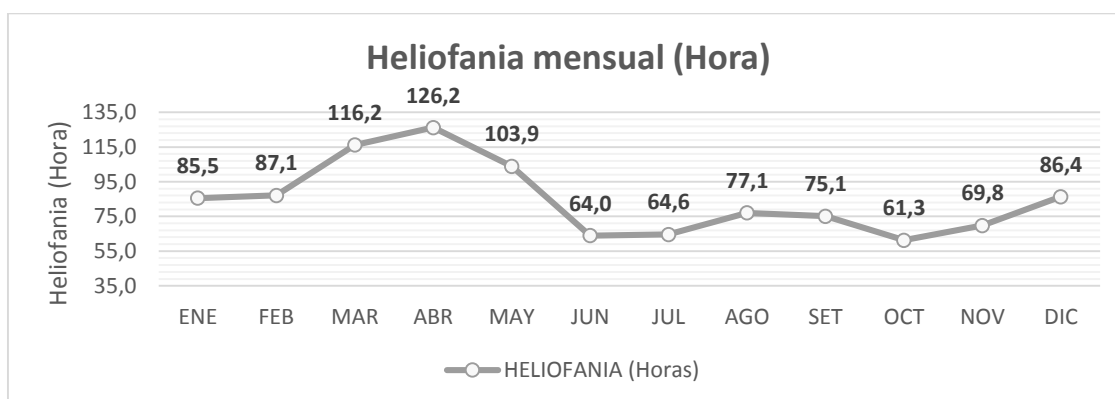


Gráfico N° 7. Heliofanía mensual del área de estudio (1965-2014)

Fuente: INAMHI

Elaborado por: El Autor, 2021

El gráfico N°7, nos muestra que la radiación solar, comprende la luz visible que incide directamente en el cultivo, es la fuerza motriz del proceso de la evapotranspiración; en los cultivos con una lámina de riego adecuado, permite que una fracción considerable del agua que se halla en los tejidos de lo vegetales se evapore a la atmosfera sin que el cultivo sufra marchitez.

En los meses de invierno se ve en el gráfico N°7, que la radiación solar asciende a 126.2 horas en el mes de abril y en temporada de verano, esa heliofanía cae hasta 61.3 horas para el mes de octubre, presentando un promedio de 1.98 horas de luz solar por día.

Parte de la zona de investigación que está ubicado por el Ingenio Valdez, presenta un promedio anual de 1,017.20 hora luz, según registro meteorológico de Milagro M0037 de (INAMHI, 2014).

Este componente de la heliofanía es parte fundamental en la ecuación expuesta por la FAO 56 para estimar la evapotranspiración real (ET_o) de la zona de estudio.

3.1.7.8.7 Viento

El efecto del viento sobre la transpiración del cultivo dependerá de las condiciones ambientales. Un aumento en la velocidad del viento significa mayor traspiración del cultivo, generando incremento de la evapotranspiración de referencia (ET_o).

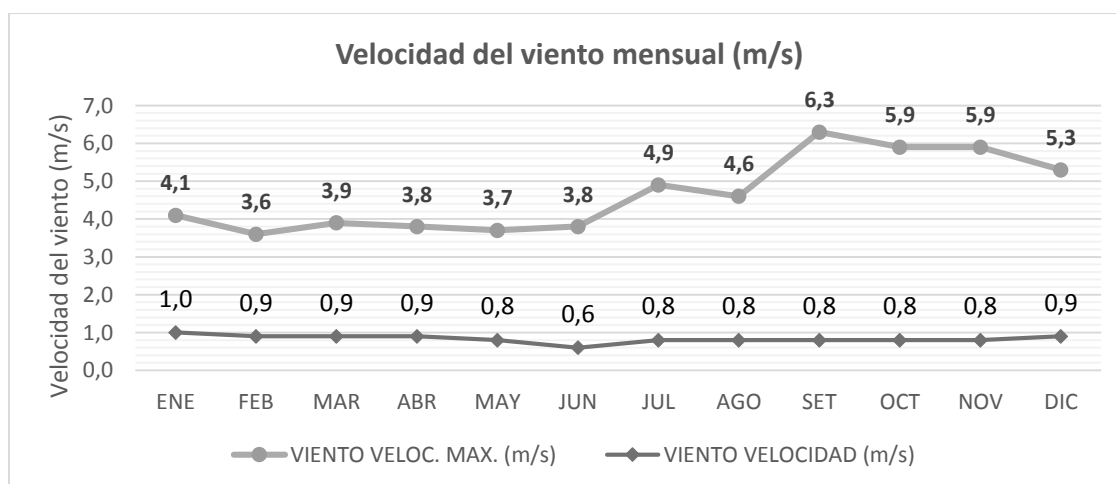


Gráfico N° 8. Velocidad del viento mensual en el área de estudio (1965-2014)

Fuente: INAMHI, Estación meteorológica Milagro (Ingenio Valdez)

Elaborado por: El Autor, 2021.

Del gráfico N°8, podemos ver que el valor máximo de la velocidad del viento alcanzado para el mes de septiembre es de 6.30 m/s que equivale a 544 km/día y la mínima se da en el mes de febrero, en época de lluvia en la zona de estudio, según indican los datos meteorológico de Milagro M0037 de (INAMHI, 2014).

La FAO (2006), indica que, en la estimación de evapotranspiración de referencia (ET_o) depende de las variables climatológicas y entre ella la velocidad del viento para procesar la información mediante la ecuación de Penman-Monteith en el programa CROPWAT de la FAO.

La pérdida de agua de un cultivo por evapotranspiración depende de los parámetros de radiación solar, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y de igual manera se analiza estas variables para estimar la demanda hídrica (Franco , 2016).

3.1.8 Diagnóstico socioeconómico

Principales actividades económicas en el área de estudio.



Gráfico N° 9. Población económicamente activa (PEA) en la zona de estudio por sexo.
Fuente: (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territo Milagro, 2015)
Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°8, muestra que la base económica del radio de acción es la agricultura, la población económicamente activa (PEA) está conformada por hombres (87%) y mujeres (13%).

La mujer centra sus esfuerzos en la actividad de la cosecha de cacao y en la empacadora de banano, mientras los varones se dedican a la actividad agrícola en sus predios y además prestan su servicio en diferentes actividades en los ingenios azucareros en la época de zafra y actividades de riego de la caña de azúcar.

La temporada de cosecha de caña de azúcar inicia por lo general en época de salida de agua entre los meses de mayo, siendo esos meses donde más mano de obra demanda en la zona.

Otra fuente de ingreso económico para los hombres es en el manejo de la producción de banano y las empacadoras para las mujeres.

Con respecto a la población económicamente inactiva (PEI), no se encontró datos relevantes que permitan sustentar en este trabajo de investigación.

3.2 Determinación de la oferta hídrica del sistema de riego

Para conocer la disponibilidad de la oferta hídrica del sistema de riego, se levantó la información de la sección transversal de cada canal principal, secundario y terciario. La sección de cada canal se dividió en varias subsecciones simétricas para calcular el área transversal del acueducto, luego se registró la altura del nivel de agua por cada subsección y seguidamente se determinó la velocidad del agua en el canal con el molinete electrónico que nos dio directamente el resultado de la velocidad del caudal expresado en m/s .

Para efecto de la determinación global de la oferta hídrica del sistema de riego Milagro, se sumó el caudal registrado de los canales principales que son el C, D-1, D-2 y M.

3.2.1 Caudal del canal de riego C.

El agua para este canal se deriva del estero Anapoyo, ubicado en la coordenada UTM (X=677590, Y= 9763934). Este caudal es captado en el río Chimbo y conducido por el canal San Antonio y posterior por el estero antes indicado, conducto indicado beneficia con riego para 4,689.00 hectáreas y su longitud total entre canal principal, secundario, terciaria y cuaternario es de 126.80 kilómetros.



Gráfico N° 10: Sección transversal del canal principal C.
Elaborado por: El Autor, 2021.

En el gráfico N°10, se indica los datos recopilados en el levantamiento de la información de la sección transversal del canal denominado C. Este canal principal tiene varios kilómetros de longitud y para su caracterización se levantó la información de la sección transversal en varios tramos a lo largo del canal, de igual manera se procedió con los canales secundarios y terciarios. En cada levantamiento de información se realizó el respectivo aforo del caudal con el instrumento electrónico llamado molinete o caudalímetro.

Para efectos de la determinación de la oferta hídrica se ha seleccionado los datos de la sección transversal que está junto a la bocatoma y los valores de la velocidad de del agua. Para este canal se halló un área hidráulica de 7.24 m^2 y una velocidad de 0.88 m/s (ver tabla N°19 en Apéndice), la oferta hídrica de este canal es $Q_c = 6.46 \text{ m}^3/\text{s}$.

En el apéndice se ha ubicado toda la información de los cálculos y la tabla de velocidad encontrado en el canal.

3.2.2 Caudal del canal de riego D- 1

El canal D-1, capta el recurso hídrico en el canal San Antonio, a pocos metros de iniciar el estero Anapoyo, la estructura de boca toma esta al costado izquierdo en la coordenada UTM (X= 68190, Y= 9760338), este canal abastece para 482 hectáreas y su longitud es 5.8 kilómetros.

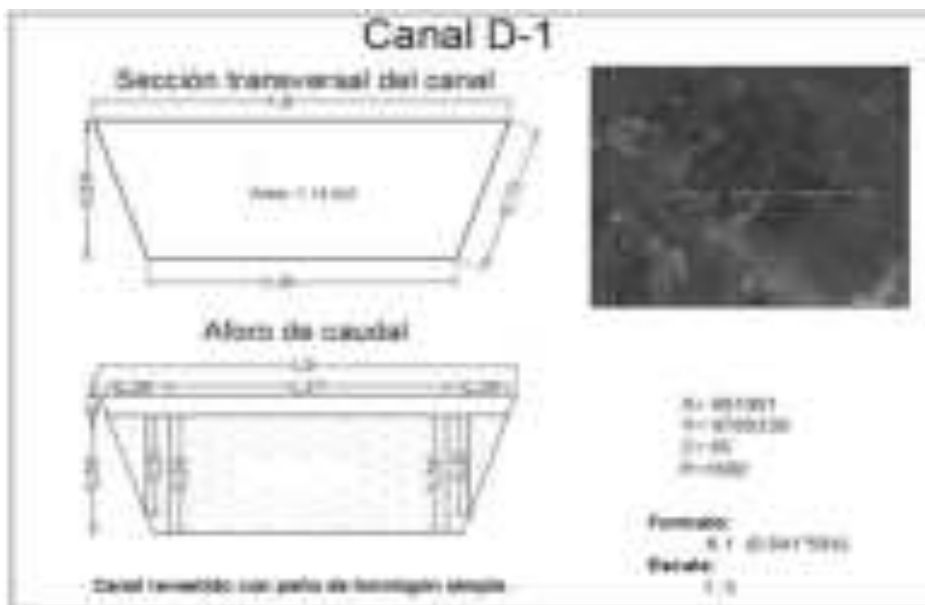


Gráfico N° 11: Sección transversal del canal D-1.
Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°11, señala que el canal de riego D-1, tiene un área de sección transversal junto a la bocatoma del acueducto que es de $0.92m^2$, la velocidad promedio hallada fue de $0.78 m /s$ (ver tabla N°20 en Apéndice), y el caudal para la oferta hídrica de este canal es de $Q_{D-1} = 0.76 m^3/s$. (Ver detalles de cálculo en Apéndice)

3.2.3 Caudal del canal de riego D- 2

El canal de riego D-2 del sistema de riego Milagro, está al costado derecho del estero Anapoyo, ubicado su bocatoma en la coordenada UTM (X= 679292, Y=9762823). Esta estructura tiene 1.9 kilómetros y satisface la necesidad hídrica para 130 hectáreas.

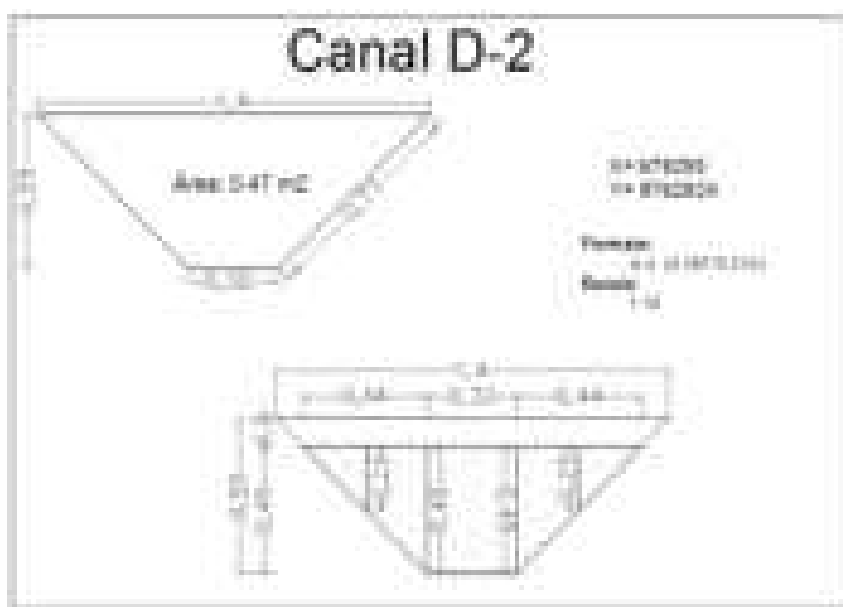


Gráfico N° 12: Sección transversal del canal D-2.
Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°12, informa que el canal de riego D-2, tiene una sección transversal inmediato a la bocatoma del conducto que es de $0.344m^2$, la velocidad promedio encontrada fue de $0.98 m /s$ (ver tabla N°21 en Apéndice), y el caudal ofertado por esta acueducto es de $Q_{D-2} = 0.34 m^3/s$. (Ver detalles de cálculo en Apéndice)

3.2.4 Caudal del canal de riego M-1

El canal M-1 tiene su captación en el río Milagro, en la siguiente coordenada UTM (X= 663517, Y= 9765676), este canal sin revestimiento de hormigón conduce el recurso hídrico para los predios del Ingenio Valdez que riega una superficie de 5,550.0 hectáreas de caña de azúcar y su longitud es de 6.5 kilómetros.



Gráfico N° 13: Sección transversal del canal M-1.
Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°13, muestra que el canal de riego M-1, tiene una sección transversal de $9.96m^2$ y no consta con recubrimiento de hormigón, la velocidad promedio fue de $0.45 m/s$ (ver tabla N°22 en Apéndice), y el caudal ofertado por este canal en tierra es de $Q_{M-1} = 4.48 m^3/s$. (Ver detalles de cálculo en Apéndice)

3.2.5 Caudal del canal de riego M-1-1

El canal M-1-1 inicia en la coordenada UTM (X=663488, Y=9765741) y es de hormigón. La captación del recurso hídrico inicia junto a la batería de compuerta que están en el inicio del canal M-1.

El canal M-1-1 tiene una longitud total de 6, 77 kilómetro y ofrece agua para regar una superficie de 191 hectáreas.

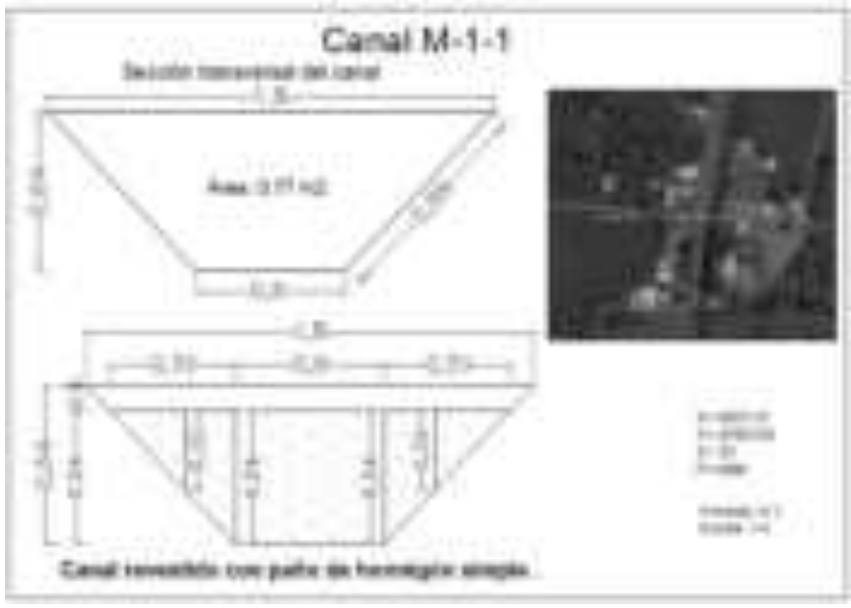


Gráfico N° 14: Sección transversal del canal M-1-1.
 Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°14, señala que el canal de riego M-1-1, tiene una sección transversal a pocos metros de la boca toma y su área hidráulica es 0.62 m^2 , la velocidad promedio hallado fue de 0.58 m/s (ver tabla N°23 en Apéndice), y el caudal ofertado para un área de 191 hectáreas es de $Q_{M-1-1} = 0.36 \text{ m}^3/\text{s}$. (Ver detalles de cálculo en Apéndice)

3.2.6 Caudal del canal de riego M-1-2

El canal de riego M-1-2 inicia en la coordenada UTM (X=663153 Y=9766350), este acueducto está construido en tierra sin revestir de hormigón y tiene una longitud 1.2 kilómetros y riega 18 hectáreas.

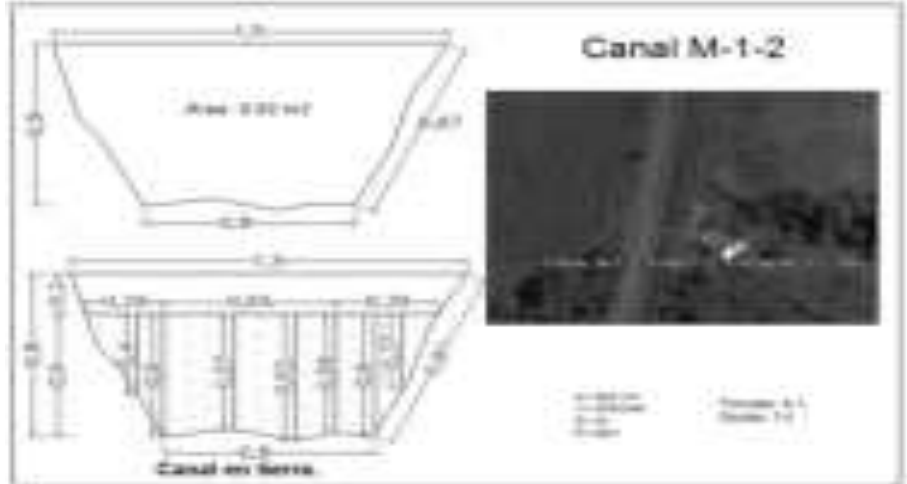


Gráfico N° 15: Sección transversal del canal M-1-2.
 Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°15, se ve que el canal de riego M-1-2, tiene un área de sección transversal junto a la bocatoma de $0.57m^2$, la velocidad promedio encontrada fue de $0.18 m/s$ (ver tabla N°24 en Apéndice), y el caudal total que ofrece el canal M-1-2 es de $Q_{D-1-2} = 0.18 m^3/s$. (Ver detalles de cálculo en Apéndice)

Oferta hídrica total del sistema de riego Milagro – Mariscal Sucre

$$Q_C = 6.46 m^3/s$$

$$Q_{D-1} = 0.76 m^3/s$$

$$Q_{D-2} = 0.34 m^3/s$$

$$Q_{M-1} = 4.48 m^3/s$$

$$Q_{M-1-1} = 0.36 m^3/s$$

$$Q_{M-1-2} = 0.18 m^3/s$$

$$Q_{total} = Q_C + Q_{D-1} + Q_{D-2} + Q_{M-1} + Q_{M-1-1} + Q_{M-1-2} = m^3/s$$

$$Q_{total} = 6.46 + 0.76 + 0.34 + 4.48 + 0.36 + 0.18 = 12.58 m^3/s$$

La oferta hídrica del sistema corresponde la capacidad máxima de conducción de los canales de riego C ($6.46 m^3/s$), D1 ($0.76 m^3/s$) y D2 ($0.34 m^3/s$) que tiene su infraestructura de bocatoma en el costado lateral del estero Anapoyo y los canales M-1 ($4.48 m^3/s$), M-1-1 ($0.36 m^3/s$) y M-1-2 ($0.18 m^3/s$) que captan el agua del río Milagro.

La oferta hídrica global que se determinó para los meses octubre y noviembre en el sistema de riego Milagro Mariscal Sucre fue de $12.58 m^3/s$.

3.3 Estimación del uso consuntivo para los cultivos de la zona de estudio.

3.3.1 Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Para determinar el parámetro de la evapotranspiración de referencia (ET_o) de la zona de estudio, se calculó por el método de Penman- Monteith propuesto por la FAO 56, usando el software denominado CROPWAT de la FAO.

La información que demanda el software es la temperatura (máxima y mínima), humedad relativa, velocidad del viento, heliofanía.

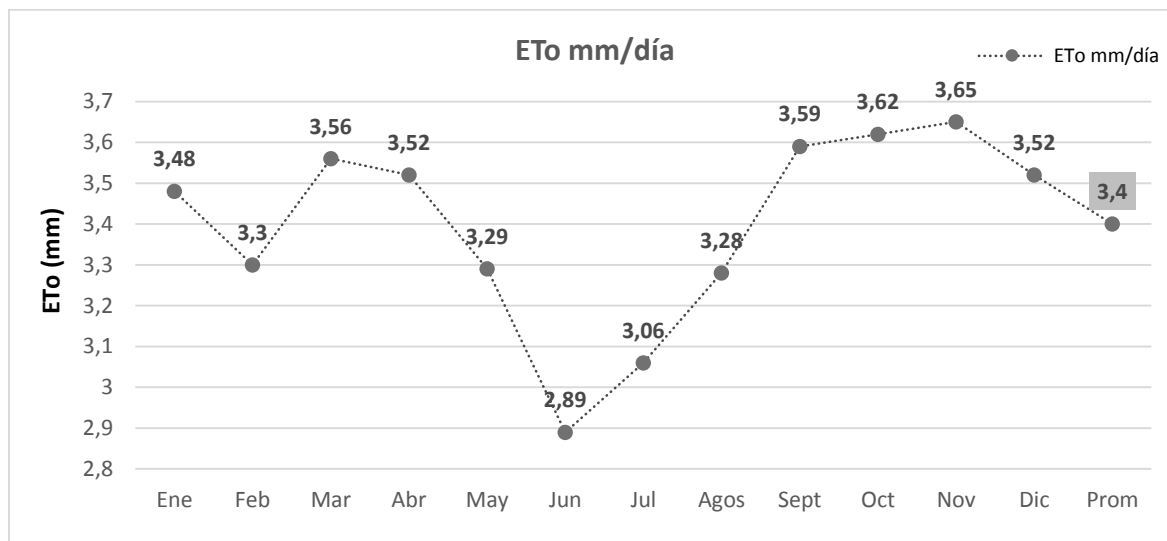


Gráfico N° 16: Evapotranspiración de referencia (ET_o) por el método de Penman-Monteith.
Fuente: INAMHI, Estación meteorológica Milagro (Ingenio Valdez)
Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°16, indica que el promedio de la máxima pérdida de agua mediante la evapotranspiración, por la presencia de la radiación solar, la velocidad del viento y otros factores climáticos presente en la zona del estudio. La evapotranspiración de mayor importancia agronómica es en la época de verano, considerando el factor ET_o en la estimación del uso consuntivo para los cultivos establecidos en el área de influencia.

El promedio de la ET_o para el mes de máxima pérdida de agua por evapotranspiración en la zona de estudio fue en el mes de noviembre, llegando hasta 3.65mm /día, equivaliendo a un volumen de 36.50 m³/día y el mes de mínima demanda hídrica es en junio 2.89 mm /día, lo que será el mes con menor demanda de agua para riego.

3.3.2 Precipitación efectiva (mm)

Para la estimación de la precipitación efectiva de la zona de influencia del estudio, se empleó el software CROPWAT de la FAO y la precipitación registrado por INAMHI de la estación meteorológica de Milagro (Ingenio Valdez). Para el proceso del cálculo en el CROPWAT, se asignó el método de precipitación confiable (ecuación FAO/AGLW), valor que sugiere la FAO para diseño.

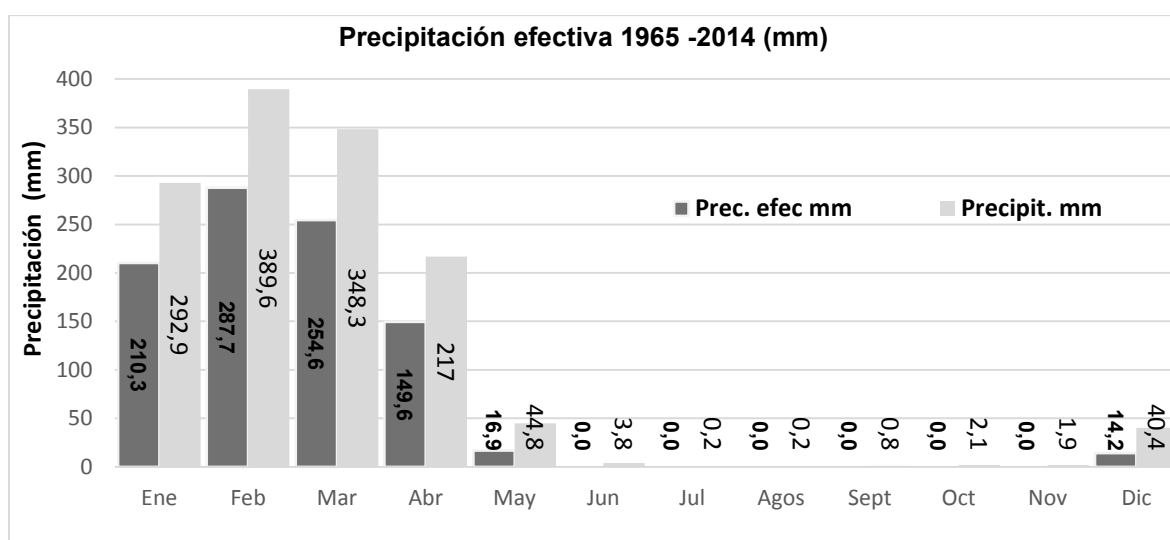


Gráfico N° 17: Precipitación (mm) en el área de estudio
Fuente: INAMHI, Estación meteorológica Milagro (Ingenio Valdez)
Elaborado por: El Autor, 2021.

El gráfico N°17, indica que la precipitación efectiva acumulada anual en la zona de estudio fue de 933.40 mm, la máxima pluviosidad se presenta en los meses de enero hasta abril y el resto de los meses hay ausencia de precipitación, en lo que se debe considerar la estimación del uso consuntivo para la reposición de la lámina de riego. La necesidad de riego consiste en la evapotranspiración del cultivo (ETc) menos la precipitación efectiva estimada (INTA, 2016).

La lámina disponible de la precipitación efectiva estimada depende de capacidad de retención del suelo y la profundidad del sistema radicular del cultivo, también está supeditada a la frecuencia e intensidad de la pluviosidad, característica orográfica de la superficie de la zona de interés.

3.3.3 Coeficiente de cultivo (Kc)

3.3.3.1 Coeficiente único (Kc) teórico de los principales cultivos

El coeficiente (Kc) hipotético, se lo encuentra en la publicación de la (FAO, 2006), sobre guía de general de Evapotranspiración del cultivo.

Tabla N° 4. Kc teórico del cultivo (FAO56) y altura máxima (m).

Cultivo	Kc_{ini}	Kc_{med}	Kc_{fin}	Altura máx. del cultivo (m)
Arroz	1.05	1.20	0.90	1.00
Banano	1.00	1.20	1.10	3.40
Cacao	1.00	1.05	1.05	3.00
Caña de azúcar	0.40	1.25	0.75	3.50
Maíz duro	0.30	1.20	0.35	2.60
Plátano	1.00	1.20	1.10	3.00

Fuente: Estudio de riego y drenaje FAO 56 (2006)

Elaborado por: El Autor, 2021

La tabla N°4, presenta los valores del coeficiente de cultivo (Kc) extraídos del manual de la FAO 56 de cada cultivo presente en el área de estudio. El Kcini, significa coeficiente de cultivo inicial, estos valores han sido estimado con parámetros de agroclimáticos, edáficos y con cultivo de diferentes etapas fenológica, ciclo de vida y alturas de planta diferente al cultivo local.

Tabla N° 5. Etapa de crecimiento del cultivo

Cultivo	$Inic.(L_{ini})$	$Des.(L_{des})$	$Med.(L_{med})$	$Final.(L_{fin})$	Total	F. de Siembra
Arroz	20	25	60	15	120	Enero/ junio
Banano	120	60	180	5	365	Anual
Cacao	60	90	120	95	365	Anual
Caña de azúcar	30	60	180	95	365	Anual
Maíz grano	20	30	55	15	120	Enero/Junio
Plátano	120	60	150	35	365	Anual

Fuente: Estudio de riego y drenaje, FAO 56, INIAP.

Elaborado por: El Autor, 2021

La tabla N°5, hacer referencia a la fase de desarrollo en sus distintas etapas del ciclo agronómico de cada cultivo y la temporada de siembra para el cultivo de ciclo corto, entre ella está la producción de arroz y maíz grano que demora 120 días hasta su cosecha.

Tabla N° 6. Profundidad radicular efectiva del cultivo (m)

Cultivo	Profundidad radicular máxima (m)
Arroz	0.75
Banano	0.85
Cacao	0.85
Caña de azúcar	0.80
Maíz duro	1.00
Plátano	0.85

Fuente: Estudio de riego y drenaje, FAO 56.
Elaborado por: El Autor, 2021

La tabla N°6, indica la profundidad que explora el sistema radicular efectiva del cultivo de interés en el área de influencia, y el cultivo presente en el área de estudio está la caña de azúcar, plátano, maíz, cacao, banano y arroz, la profundidad de la raíz de un cultivo determina la lámina de agua que la planta puede absorber.

Según SIAR (1999), señala que el cultivo extrae el 40% de agua existente de la primera cuarto parte de la profundidad de la raíz; paralelamente extrae el 30% de la segunda cuarta parte de la profundidad de la raíz; extrae el 20% del agua de la tercera parte de profundidad y finalmente extrae el 10% de la último cuarta parte.

En presencia de suelos poco profundo para la exploración normal del sistema radicular, se disminuye el patrón antes indicado en el párrafo anterior y se reduce la profundidad de las raíces y consecuentemente se disminuye la lámina de agua estimada en el uso consuntivo e incrementando la frecuencia de riego para mantener el suelo a capacidad de campo.

3.3.3.2 Coeficiente Kc ajustado.

Tabla N° 7. Coeficiente de cultivo (Kc) ajustado con parámetro local.

Cultivo	Kc_{ini}	Kc_{med}	Kc_{fin}
Arroz	0.25	1.25	0.95
Banano	0.26	1.26	1.17
Cacao	0.27	1.12	1.12
Caña de azúcar	0.33	1.31	0.83
Maíz grano	0.28	1.26	0.41
Plátano	0.26	1.26	1.17

Elaborado por: El Autor, 2021

La tabla N°7, se indica los nuevos valores del coeficiente de cultivo Kc de arroz, banano, cacao, caña de azúcar, maíz grano y plátano. Para el ajuste del coeficiente de cultivo, se ha empleado los parámetros edafoclimáticos local y el periodo vegetativo del cultivo de interés del área de estudio.

En la tabla se observa el coeficiente Kc ajustado con el programa CROPWAT, estos valores de Kc se requieren para el desarrollo de la estimación del uso consuntivo (FAO, 2006).

3.3.4 Humedad aprovechable total de suelo (mm/m)

a. Agua disponible en porcentaje del volumen (ADT).

Pea (1.25 g/cm^3), CC (33.90%), PMP (23.54%) y Pew (1.0 g/cm^3)

$$AD_{\%v} = (33.90 - 23.54) * \left(\frac{1.25}{1.00} \right)$$

$$AD_{\%v} = 12.95\%$$

b. Lámina de agua disponible en unca capa de un metro de profundidad (mm/m).

$$LD_m = 12.95 \% * 10$$

$$LD_m = 129.5 \text{ mm/m}$$

$$LD_m = 130 \text{ mm/m}$$

Con el resultado del cálculo de la lámina de agua disponible con los datos de capacidad de campo (33.90%), punto de marchitez permanente (23.54%), peso específico aparente (1.25 g/cm^3), se ha estimado una lámina de agua disponible de 130 mm/m , que permitirá obtener el valor del uso consuntivo y el requerimiento hídrico del cultivo en el CROPWAT.

Figura N° 2. Parámetros del suelo.

Elaborado por: El Autor, 2021.

En la figura N°2, se establece los parámetros de capacidad de humedad del suelo expresado en mm/metro ($LD_m = 130 \text{ mm/m}$), la tasa máxima de infiltración expresado en mm/día (8mm/hora x 24hora), la profundidad del sistema radicular se extraen los datos de la tabla N°6 y el agotamiento inicial de humedad del suelo del área de estudio ADT. Para cada cultivo estos parámetros hidráulicos del suelo fueron diferente para cada cultivo, aún que estén en la misma área de influencia.

Estos son uno de los varios parámetros que demanda el CROPWAT para la estimación de uso consuntivo (ETc) y la lámina de riego requerida (mm/ciclo) por hectárea.

Tabla N° 8. Factor de respuesta de la productividad del cultivo (K_y)

Cultivo	K_y
Arroz	1.32
Banano	1.2-1.35
Cacao	1.05
Caña de azúcar	1.20
Maíz duro (grano)	1.25
Plátano	1.2-1.35

Fuente: Estudio de riego y drenaje, FAO 33.

Elaborado por: El Autor, 2021

La tabla N°8, muestra el factor K_y que son específicos para cada cultivo, este valor indica la reducción de la producción y está en función del uso consuntivo (ETc) o la evapotranspiración del cultivo. Por lo general este valor K_y se hace más evidente en presencia de escasas de agua para riego en todas las fases de desarrollo del cultivo, afectando gravemente a la producción frente al déficit hídrico en etapa de floración y llenado del fruto (FAO, 2006). Este factor es otro parámetro que demanda el CROPWAT en el proceso de la estimación del uso consuntivo (ETc) para el cultivo.

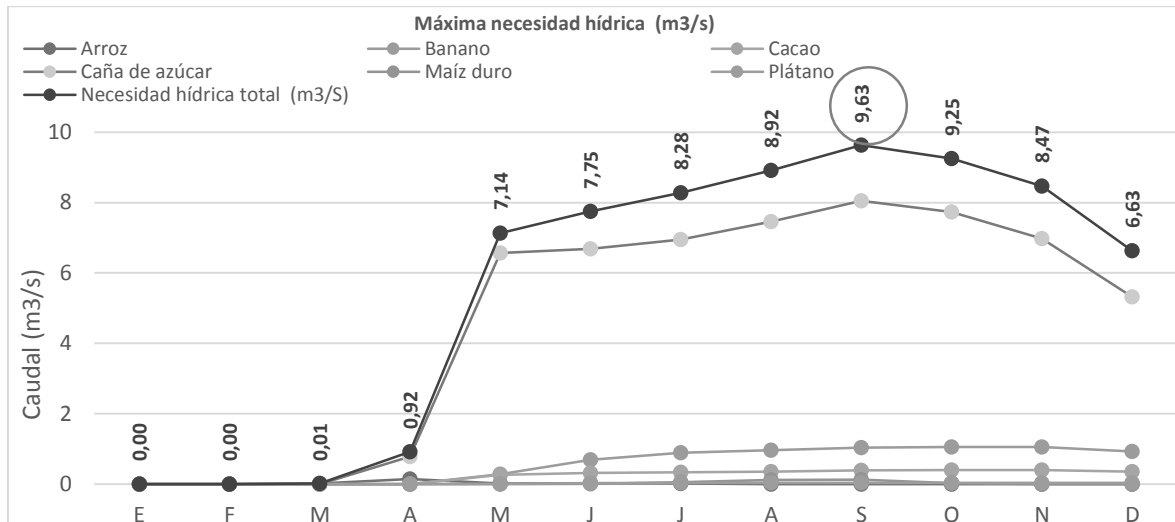


Gráfico N° 18: Máxima necesidad hídrica del sistema de riego (m3/s).
Elaborado por: El Autor, 2021.

Como se puede apreciar en el gráfico N°18, la curva de máxima necesidad hídrica (m^3/s) varían de un mes a otro por las condiciones climáticas, etapas fenológicas del cultivo y por la ausencia de pluviosidad en la zona de influencia.

En el gráfico se representa el requerimiento hídrico del cultivo de caña de azúcar (9,213.03 Has) que asciende a $8.05 m^3/s$ en el mes de septiembre, el cacao (501.44 Has) presenta la máxima demanda de $0.40 m^3/s$ en el mes de octubre y noviembre, el banano (1,197.87 Has) muestra su máxima exigencia hídrica en el mes de octubre $1.06 m^3/s$, el maíz (142.63 Has) mantiene su máxima demanda hídrica de $0.12 m^3/s$ para el mes de septiembre (época de llenado de grano), el plátano (42.46 Has) indica que su necesidad de agua es $0.04 m^3/s$ para el mes de septiembre y el cultivo de arroz (45.57 Has) necesita $0.14 m^3/s$ para el mes de abril.

El requerimiento global del sistema de riego para los principales cultivos es $9.63 m^3/s$, en la época de máxima demanda hídrica considerando el porcentaje de la eficiencia del sistema.

Tabla Nº 9. Uso consuntivo para el ciclo del patrón del cultivo (m³/s).

Patrón de cultivo	Área (Ha)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Arroz	45.57			0.01 m ³ /s	0.14 m ³ /s	0.02 m ³ /s	0.02 m ³ /s	0.02 m ³ /s					
Banano	1,197.87	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.28 m ³ /s	0.69 m ³ /s	0.89 m ³ /s	0.96 m ³ /s	1.04 m ³ /s	1.06 m ³ /s	1.06 m ³ /s	0.93 m ³ /s
Cacao	501.44	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.26 m ³ /s	0.32 m ³ /s	0.33 m ³ /s	0.36 m ³ /s	0.39 m ³ /s	0.40 m ³ /s	0.40 m ³ /s	0.35 m ³ /s
Caña de azúcar	9,213.03	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.78 m ³ /s	6.57 m ³ /s	6.68 m ³ /s	6.95 m ³ /s	7.46 m ³ /s	8.05 m ³ /s	7.73 m ³ /s	6.97 m ³ /s	5.32 m ³ /s
Maíz grano	142.63	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s		0.01 m ³ /s	0.06 m ³ /s	0.11 m ³ /s	0.12 m ³ /s	0.03 m ³ /s		
Plátano	42.46	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.00 m ³ /s	0.01 m ³ /s	0.02 m ³ /s	0.03 m ³ /s	0.03 m ³ /s	0.04 m ³ /s	0.04 m ³ /s	0.04 m ³ /s	0.03 m ³ /s
Caudal del sistema	11,143.00 Has	0.00 m³/s	0.00 m³/s	0.01 m³/s	0.92 m³/s	7.14 m³/s	7.75 m³/s	8.28 m³/s	8.92 m³/s	9.63 m³/s	9.25 m³/s	8.47 m³/s	6.63 m³/s
Caudal ficticio continuo		0.00 l/s/ha	0.00 l/s/ha	0.00 l/s/ha	0.08 l/s/ha	0.65 l/s/ha	0.70 l/s/ha	0.74 l/s/ha	0.80 l/s/ha	0.87 l/s/ha	0.83 l/s/ha	0.77 l/s/ha	0.61 l/s/ha

Elaborado por: El Autor, 2021

La tabla N°9, indica la estimación del uso consuntivo global para los principales cultivos de zona de estudio, en el mes de la máxima demanda hídrica del sistema de riego Milagro – Marisca Sucre que es de $9.63 \text{ m}^3/\text{s}$ para el mes de septiembre.

Según la investigación de tesis de maestría por Domínguez (2016), determinó que la eficiencia del sistema San Jacinto, que está ubicado en la provincia del Guayas y su infraestructura es similar al área de estudio, tuvo una eficiencia del sistema de riego del 74%. Valor de eficiencia que se usó para estimar el caudal real del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre.

Por lo indicado en el párrafo anterior, el caudal del uso consuntivo sin la eficiencia de riego es $6.78 \text{ m}^3/\text{s}$, y con la eficiencia del sistema (74%), asciende a $9.63 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver tablas N° 26, 28, 30, 32, 34 y 36 en apéndice), con este caudal se garantiza la necesidad del uso consuntivo para los principales cultivos del área de influencia.

3.4 Contrastar la oferta hídrica y el uso consuntivo.

El máximo caudal que puede captar y conducir la infraestructura del sistema de riego mediante los canales principales que captan agua para riego en el estero Anapoyo son la red de canal C, D-1, D-2, y la red de canal M, capta el recurso hídrico en el río Milagro. El sistema de riego Milagro, entre estos 4 puntos de captación del recurso hídrico, logran ofertar para sus usuarios un total de $12.58 \text{ m}^3/\text{s}$ y el caudal global requerido mediante la estimación del uso consuntivo para los principales cultivos del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre es $9.63 \text{ m}^3/\text{s}$ para el mes de máxima demanda hídrica (septiembre).

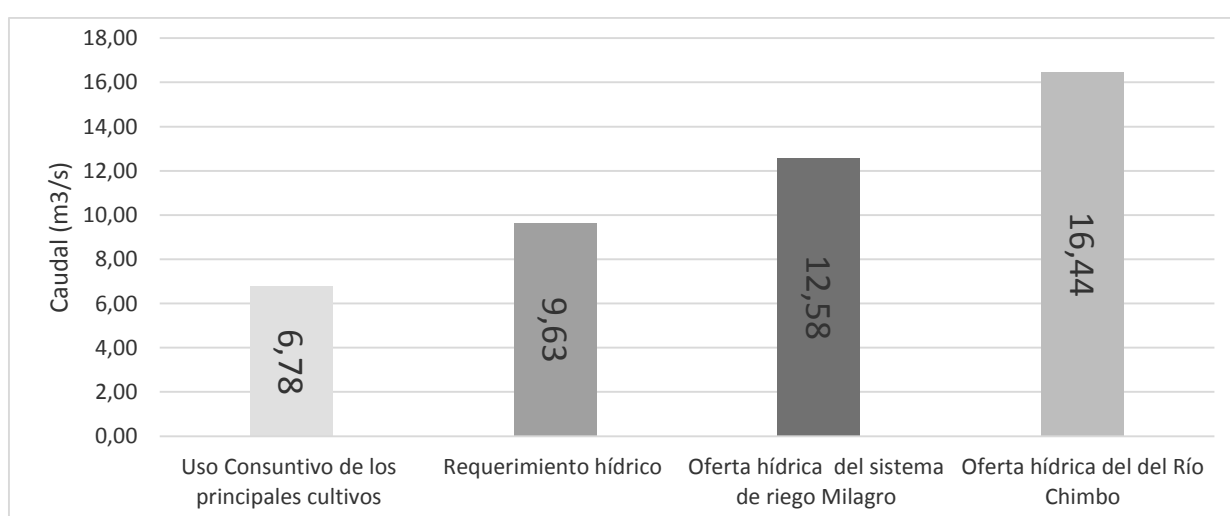


Gráfico N°19: Oferta hídrica y uso consuntivo para el mes de septiembre de máxima sequía.
Elaborado por: El Autor, 2021.

DISCUSIÓN

Con respecto al hallazgo en la línea base del estudio, se encontró que el suelo del área de influencia tiene un relieve menor al 5% y la geomorfología de la zona está formado por material de influencia volcánica (ver mapa N°3) y la clasificación taxonómica predominante es del orden Entisol (ver mapa N°5) de formación Aluviales, dando origen al suelo de textura franco arcilloso con una infiltración básica de 8mm/hora, estos suelos son adecuado para el cultivo de banano (Toro, 2016), caña de azúcar (CINCAE, 2016), cacao (ANECACAO, 2015), maíz (INIAP, 2015), plátano (González, 2016) y para el cultivo de arroz (IICA, 2012), además tiene un pH neutro (ver mapa N°8) en todo el área de estudio.

En lo referente al análisis de las condiciones climática de la zona de estudio, se encontró que la precipitación anual en la zona de Milagro es inferior en un 26.47% con respecto al volumen de lluvia de la zona de Naranjito, y de igual manera se encontró una variación de la temperatura máxima de 3.2°C, lo que incidiría en una menor demanda hídrica en la zona Naranjito (CLIRSEN & SIGAGRO, 2009).

En lo que respecta al balance hídrico de la zona de estudio, se evidenció que existen un periodo de abundancia de agua entre los meses de enero a mediados de abril y un ciclo de 8 meses de ausencia de precipitación, con un índice de escasez del 97 %, razón por lo que se debe considerar suministrar el riego para reponer la lámina de agua agotado, así también lo corrobora Espinoza (2019).

Con respecto al resultado de la evapotranspiración de referencia (ET_o), se encontró que la máxima evapotranspiración en la zona de estudio se da en el mes de noviembre, llegando hasta 3.65 mm/día (ver tabla N°18 en apéndice), coincidiendo con el estiaje del río Chimbo y la máxima sequía en la región costera, acorde lo indicado por CESA (2016).

En lo referente al resultado del coeficiente K_c estimado, los valores ajustados se lograron por medio de las ecuaciones del manual de la FAO (2006), y los parámetros climáticos, edáficos, características morfológicas y fisiológica de los cultivos (Peña, 2016) predominante del área de estudio (ver tabla N°3), se encontró que los valores ajustados (K_c), variaron con respecto al coeficiente teórico publicado por el manual de la FAO 56 (ver tabla N°4), concordando con lo expuesto por (FAO, 2016) que el valor varía de una región a otra.

Al comparar con el resultado del coeficiente único del cultivo de arroz, con el resultado que señala Arreaga (2020), son diferente, debido a otras condiciones agroclimáticas.

Con base al resultado obtenido en el trabajo de investigación por Pardo (2008) y comparando con el K_c obtenido para el cultivo de caña de azúcar, se ve una mínima variación.

En el mismo sentido, se comparó el resultado del coeficiente K_c del cultivo de maíz grano con lo manifiesta por Rueda (2017), y se encontró una estrecha similitud con el valor obtenido en el estudio.

Así también se cotejo el resultado del coeficiente K_c del cultivo de cacao, con el valor presentado por Farías (2018) y se evidencio en un 15% menor al valor estimado en el estudio.

En cuanto al uso consuntivo (ET_c) estimado, comprende la máxima extracción del agua de la humedad del suelo, con variación sustancial en función del coeficiente de cultivo K_c (ver tabla 7) en las diferentes etapas de crecimiento (ver tabla N°5) de la planta y el valor de la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o) de acorde al mes de la estimación (ver tabla N° 18 en Apéndice) de la necesidad de riego. Los valores del uso consuntivo (ET_c) estimado varían con respecto a otros estudios reportado de diferentes zonas (CENICAÑA, 2016).

De acuerdo con el valor del uso consuntivo para el cultivo de cacao, que indica Del Cioppo (2016) en la zona de Chongón es 4.26mm/día y en el estudio se encontró un valor máximo para el mes de diciembre de 4.65mm/día (ver tabla N°27 en Apéndice) y el requerimiento de riego estimado para la zona de estudio fue inferior (1,025.30mm/año) en comparación de la información sobre la lámina de riego que indica (ANECACAO, 2015) para la región costa ecuatoriana (1,500 a 1,800mm/año).

Para el cultivo de la caña de azúcar se encontró un máximo valor del uso consuntivo (ETc) de 5.28 mm/día en el mes de septiembre debidos a las condiciones agroclimáticas, y una lámina de riego global de 1,121.20mm/año (ver tabla N°25 en Apéndice). Este resultado es inferior al reportado por CINCAE (2016), en la que indica que el cultivo en la región costa presenta una necesidad hídrica mínimo de 1,600 mm en toda su etapa fenológica y lo ratifica Burgos (2015).

En cuanto al resultado del uso consuntivo (ETc) para el cultivo de banano, se halló el máximo ETc para el mes de noviembre de 5.30mm/día y su requerimiento hídrico anual es 1,052.40mm (ver tabla N°29 en Apéndice), por otro lado, Córdova (2010) manifiesta la lámina de riego para banano en promedio es 2,000mm, valor que es superior en un 47% con respecto al estimado para la zona de estudio.

La respuesta encontrada en la estimación del uso consuntivo (ETc) para el cultivo de maíz en la zona de estudio, el máximo valor fue inferior (5.17 mm/día) al uso consuntivo (6.5mm/día) reportado por Sandal (2014) en la zona de Pueblo Viejo. Con respecto a la lámina de agua calculada para el cultivo en la zona de estudio (ver tabla N°35 en Apéndice) fue de 418.60mm/ciclo, inferior en un 47% al volumen de riego que sugiere INIAP (2015).

El resultado del uso consuntivo máximo (3.59mm/día) estimado para el cultivo arroz en la zona de estudio, tuvo un valor inferior al reportado por IICA (2012) para el mismo cultivo en la zona del Guayas.

Con respecto a la lámina de riego en el análisis se obtuvo un valor de 825.80mm/ciclo (ver tabla N°33 en Apéndice) y según Zornoza (2016), menciona que, la lámina de riego en la zona de Daule fue 505 mm/ciclo, 38% menor con respecto al área de estudio.

La estimación del uso consuntivo global para los principales cultivos de zona de estudio, en el mes de la máxima demanda hídrica es de $9.63 \text{ m}^3/\text{s}$ (ver tabla N°9), concordando con lo manifestado por CAMAREN (2009), sobre la concesión de agua para riego en el proyecto de riego Milagro Mariscal Sucre.

La capacidad de la oferta hídrica del sistema de riego Milagro ($12.58 \text{ m}^3/\text{s}$) supero en un 23.45% al caudal requerido ($9.63 \text{ m}^3/\text{s}$) en la temporada de máxima sequía (septiembre) en la zona y estiaje del Río Chimbo (INERHI, 1984).

Con los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se confirma la hipótesis planteada en la investigación sobre “La oferta hídrica del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre, abastecerá para solventar el uso consuntivo de los principales cultivos en temporada de verano”.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los suelos del área de estudio son de textura arcillosa con pH neutro y están bajo riego el 55.72% del área total del sistema de riego Milagro, su fuente de captación es en el río Chimbo y la época de mayor necesidad hídrica para satisfacer el uso consuntivo de los principales cultivos se da en el mes de septiembre.

Con los parámetros agroclimáticos, edáficos y característica fenológica del cultivo de la zona de estudio, se obtuvieron coeficientes de cultivo (K_c) menor al valor propuesto por la FAO 56 del año 2006 en todas las etapas del cultivo analizado, en la etapa inicial se redujo el 50% del valor propuesto por la FAO 56, en la etapa media descendió el 5% y en la etapa final disminuyó un promedio de 8.8% para todos los cultivos.

Mediante análisis de los parámetros del coeficiente de cultivo (K_c) y evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}), se estimó el uso consuntivo de la zona de estudio para todo los meses del año y se halló la máxima demanda hídrica en el mes de septiembre con un caudal global de $9.63 \text{ m}^3/\text{s}$ para los principales cultivos del área de análisis.

Se determinó mediante aforo, que el sistema de riego Milagro Mariscal Sucre tiene una capacidad de oferta hídrica de $12.58 \text{ m}^3/\text{s}$, este caudal es superior en un 23.45% a la máxima demanda del uso consuntivo del mes de septiembre.

Recomendaciones

Considerar la creación de un manual de administración, operación y mantenimiento exclusivo para el sistema de riego Milagro Mariscal Sucre, que permita conservar la infraestructura del sistema de riego y drenaje mediante un adecuado control y el mantenimiento oportuna.

Para un adecuado control del caudal ofertado, se sugiere la elaboración de la curva de gasto en los canales de riego y la ubicación del limnímetros.

Para un posterior incremento del área bajo riego, se debería considerar el uso consuntivo actual, la disponibilidad del agua en el río Chimbo en época de sequía y la capacidad de la oferta hídrica del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre.

Y, por último, se propone una futura investigación complementaria al presente estudio, sobre la evaluación de la eficiencia del sistema de riego Milagro Mariscal Sucre, que incluya la determinación de eficiencia de captación, conducción, distribución y aplicación parcelaria, con el fin de ajustar el gasto global de la relación uso consuntivo y eficiencia del sistema de riego y el caudal de la oferta hídrica encontrada.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

- AGROCALIDAD. (2015). *Buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz*. Quito: AGROCALIDAD.
- Álvarez, P. (2019). *Tesis "Determinación del coeficiente de cultivo (Kc) del pimiento (Capsicum annum L.) en función a la evapotranspiración real en comparación con el Kc"*. Quevedo: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- ANECACAO. (2015). *Consejos técnicos para mejorar la producción de cacao. Cofina*, 18.
- Arreaga, R. (2020). *Tesis "Análisis del manejo eficiente del agua en dos sistemas de riego en el cultivo de arroz"*. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador .
- Astudillo, A. (2011). *Tesis "Plan de estructuración productiva para cañicultores asociados a compañía azucarera Valdez"*. Guayaquil: UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE.
- Bancaya, E. (2019). *Tesis "Evaluación de láminas de riego y eficiencia en los sistemas, utilizando sensores de humedad y modelo de Penman-Monteith para cultivo de banano y maíz en Piura-Perú"*. Piura: Universidad Nacional de Piura.
- Burgos, J. (2015). *Estudio de la lámina óptima de riego para el cultivo de la caña de azúcar en la zona Naranjal*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Cadena, V. H. (2016). *Hablemos de riego (Vol. 1)*. Quito, Ecuador: Graficolor .
- CAMAREN. (2009). *Concesiones de agua y riego en Ecuador* . Quito : CAMAREN .
- CAMAREN. (2015). *Infraestructura de riego: Elementos técnicos y sociales*. Quito: CESA.
- Carchi, A. (2015). *Balace hídrico* . Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Castro, O. (2015). *CENGICAÑA "El riego en la zona cañera de Guatemala"*. Guatemala: Artemis Edinter, S.A.
- CENGICAÑA. (2017). *El cultivo de la caña de azúcar*. Guatemala: Artemis Edinter, S.A.

- CENICAÑA. (2016). *Determinación de la evapotranspiración y de los coeficientes del cultivo de la caña de azúcar. Programa Agronomía, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia*. Valle del Cauca - Colombia: Cenicaña.
- CESA. (2016). *La tecnificación de la agricultura familiar bajo riego en Ecuador*. Quito: CAMAREN.
- CINCAE. (2016). *Informe anual: Producción nacional de caña de azúcar*. El Triunfo: CINCAE.
- CLIRSEN, & SIGAGRO. (2009). *Clima e hidrología modulo N°3. Proyecto: "Generación de geoinformación para la gestión del territorio y valoración de tierras rurales de la Cuenca del río Guayas escala 1: 25 000"*. Quito: CLIRSEN.
- CONADI. (2017). *Riego superficial tecnificado "Una técnica simple para mejorar la eficiencia en riego por surco en la región Atacama"*. Atacama - Chile: Ministerio de Desarrollo Social - Chile.
- Córdova, E. A. (2010). *Guía técnica del cultivo de banano y platano*. Arce: CENTA.
- Cotrina , T. (2016). Análisis de la oferta y la demanda de agua para el cultivo de arroz en el ámbito del área de conservación privada Copallín, Amazonas. *REVISTA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN, FIGMMG-UNMSM*, 6.
- Crispín, O. (2017). *Tesis Doctorales en educación en universidades públicas de la Región Central de Perú*. Huancayo: Universidad Nacional del Centro de Perú.
- Del Cioppo , J. (2016). *Tesis doctoral "Valoración del servicio ecosistémico del agua para riego presurizado del cultivo de cacao en la regable de chongón del trasvase Daule - Santa Elena"*. Tumbes: Universidad Nacional de Tumbes.
- Demin, P. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego "Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones"*. Catamarca: INTA.
- DGDE. (2016). *Manual de operación "Dirección General de Desarrollo Económico"*. Ibarra : Prefectura de Ibarra .
- DGIAR. (2015). *Dirección General de infraestructura Agrarai y Riego "Manual del cálculo de eficiencia para sistema de riego"*. Lima: Ministro de Agricultura - Perú.

- DIRDRA. (2015). *Componente económico del Consejo de Planificación del GAD Parroquial Rural Mariscal Sucre - Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Guayas*. Milagro: GAD MARISCAL SUCRE.
- Domínguez , M. (2016). *Tesis "Eficiencia de la red de canales del sistema de riego y drenaje San Jacinto, cantón Colimes, provincia del Guayas"*. Guayaquil: Unirsidad Agraria del Ecuador.
- Duque, P. (2019). *Estimación del balance hídrico de una cuenca andina tropical*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Espinoza, K. (2016). *Fenométrico e índice de balance hídrico del cultivo de arroz (Oryza sativa L.) en el cantón Arenillas* . Arenillas: Universidad Técnica de Machala .
- Estupiñan, A. (2016). *TEsis "Solución a la vulnerabilidad vial, urbana y fluvial producida por inundaciones en la Cuenca del Río Chimbo"*. Guayaquil: ESPOL.
- FAO . (2014). *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Roma: (FAO) Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
- FAO. (1987). *Manual de campo N°3. "El manejo del agua de riego" Necesidades de agua de los cultivos*. Roma: FAO.
- FAO. (1990). *Las necesidades de agua de los cultivos* (Vol. 24). Roma: (FAO) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo* (Vol. 56). Roma: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
- FAO. (2015). *Afrontar la escasez de agua* (Vol. 38). Roma: (FAO) Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
- FAO. (2016). *Adaptación de la agricultura al cambio climático*. Roma: (FAO) Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
- FAO24. (1997). *Las necesidades de agua de los cultivos*. Roma : FAO.
- Farias , S. (2018). *Tesis "Validación del método del cenirómetro en la programación del riego en el cultivo de cacao en el cantón Naranjal"*. Milagro: Universidad Agraria del Ecuador .
- Fernández , R. (2010). *Manual de riego para agricultura, riego por superficie. Módulo N° 2*. Albacete: Lumen Gráfica, S.L.

- Fernández, M. (2017). Uso del agua para riego en los cultivos. En Fernández, *Cuaderno de estudio agroalimentarios* (págs. 115-138). Almería: CEA03.
- Fernández, P. (2012). *Tesis "Uso de los modelos Cropwat, Watsuit y Chemeq para el manejo y programación de riego en Stevia en la Zona de Cerecita"*. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador.
- Franco, R. (2016). *Tesis "Concepción e implementación de un módulo hidroneumático para la evaluación de disponibilidad de recursos hídricos"*. México: Universidad Autónoma del Estado de México.
- Gallardo, G. (2019). *Cálculo de brechas de complementariedad bajo el prisma de la sostenibilidad para los proyectos estratégicos hídricos de riego y propuesta de mitigación*. Quito: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gobierno Provincial del Guayas. (2013). *Perfil de proyecto para rehabilitación del sistema de riego Milagro-Mariscal Sucre*. Guayaquil.
- González, H. (2016). *Requerimientos hídricos del plátano dominico Hartón (musa aab simmonds) en la región Santágueda*. Caldas: Universidad de Caldas.
- Grassi, C. (2000). *Operación y mantenimiento de sistemas de riego por gravedad*. Mérida: CIDIAT.
- Grassi, C. J. (2002). *Diseño y operación de riego por superficie* (Vols. RD-36). Mérida: CIDIAT.
- Gualpa, O. (2014). *Tesis "Diseño de riego por goteo y microaspersión para el cultivo de cacao en el Congoma, Santo Domingo de los Tsáchilas"*. Santo Domingo : ESPE.
- Gypsicons. (2020). *Estudio "Fichas ambientales y plan de manejo ambiental - Milagro"*. Milagro : Ministerio de educación.
- Herrera, R. (2020). *Tesis "Incidencia de la programación del riego en la producción de banano en la finca Santa Martha"*. Milagro : Universidad Agraria del Ecuador .
- ICC. (2017). *Manual de Medición de Caudales*. Guatemala: Instituto de investigación sobre cambio climático .
- IICA. (2012). *Estudio de la cadena agroalimentaria de arroz*. Santo Domingo: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA).
- INAMHI. (2014). *Anuario meteorológico* . Quito: INAMHI .
- INAR. (2009). *Proyecto de rehabilitación del sistema de riego y drenaje Milagro - Mariscal Sucre*. Milagro: INAR.

- INERHI. (1984). *Informe final del estudio de la Cuenca Baja del Guayas, Tomo I*. Quito: Instituto ecuatoriano de recurso hídrico.
- INIA. (2017). *Programación de riego "Programa de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental"*. Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuario .
- INIAP. (2015). *Manual técnico N°26. Clima, suelo, nutrición y fertilización de cultivos en el Litoral Ecuatoriano*. Quito: Instituto Nacional Autonomo de Investigaciones agropecuario.
- INIAP. (2018). *Programa nacional de arroz*. Quito: INIAP.
- INTA. (2016). *Riego superficial - Manual de capacitación en agua superficial*. Paz: UCAR.
- Lucín, J. (2018). *NECESIDADES Y CALENDARIO DE RIEGO EN EL CULTIVO DE PLÁTANO (Musa paradisiaca)*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Macarena, M. (2019). *Huella hídrica del cultivo de maíz en los partidos de Tandil y Balcarce*. Buenos Aires: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- MAGAP. (2014). *Manual de riego parcelario* . Quito: MAGAP.
- MAGAP. (2015). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2011- 2016*. Quito: MAGAP.
- MAGAP. (2016). *Fomento a la producción agrícola a través de la implementación de sistemas de uso y aprovechamiento del recurso hídrico para el desarrollo rural y la soberanía alimentaria*. Quito: MAGAP.
- Melgar, M. (2016). *CENGICAÑA "Cultivo de la Caña de Azúcar en Guatemala"*. Guatemala: Artemis Edinter, S.A.
- Nieto , C. (2018). *Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- OMM. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas. Organización Metereológica Mundial (Tiempo - Clima - Agua). Sexta Edición (5 ed., Vol. 5)*. Washington: OMM–N° 168. Obtenido de https://hydrologie.org/BIB/OMM/WMOSPA_v5.pdf
- Ortega, J. (2019). *Determinación de las necesidades de riego del arroz y maíz en el distrito de David, provincia de Chiriquí, república de Panamá*. Panamá: Universidad de Panamá.

- Pardo , J. (2008). *Programación del riego mediante balance hídrico en una plantación de caña de azúcar en el cantón Marcelino Maridueña*. Guayaquil: Universidad Agraria del Ecuador.
- Peña, J. (2016). *Evaluación de la producción de chilote en el cultivo de Maíz (Zea mays, L) variedad HS-5G utilizando sustratos mejorados y determinación de los coeficientes "Kc" y "Ky", bajo riego*. Managua: UNA - Universidad Nacional Agraria.
- Plan de desarrollo y ordenamiento Naranjito. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territo Nanjito*. Naranjito: GAD Naranjito.
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territo Milagro. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Milagro*. Milagro: GAD MILAGRO.
- PNRD. (2019). *Plan nacional de riego y drenaje 2019-2027*. Quito: Subsecretaría de Riego y Drenaje.
- Romanella, C. (1978). *Preparación y manejo de suelos para riego*. Santa Fe - Arentina: Instituto Interamericano de ciencia agricola (OEA).
- Rueda, V. (2017). *Tesis "Estimación de la huella hídrica de los cultivos maíz, caña de azúcar y palma en la provincia del Guayas"*. Quito: Escueal Politécnica Nacional.
- Saltos, C. (2016). *Producción de cacao fino de aroma* . Guayaquil: Universidad de Guayaquil .
- Sandal, S. (2014). *Tesis "Comportamiento agronómico de tres híbridos de maíz en el cantón Pueblo Viejo"*. Quevedo: Universidad Técnica de Quevedo .
- Sandoval, L. (2015). *Medidores de flujo en canales abierto*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Santos, L. (2010). *El riego y sus tecnología*. Albacete - España: CREA.
- SEMPLADES. (2015). *Agenda ZONA 5-Litoral Centro - Santa Elena, Guayas, Bolivar, Los Ríos y Galapagos* (Primera ed.). Quito: Impreso Ecuador. Recuperado el 20 de Marzo de 2021, de www.planificacion.gob.ec
- SENAGUA. (2018). *Guía metodológica para la formulación de proyectos de riego y drenaje*. Quito: Secretaría del agua.
- SIAR. (1999). *Programación de riego - Comisión Nacional de Riego* . Talca: Universidad de Talca.
- Squeo , F., & León, M. (2007). Transpiración . *Fisiología Vegetal*, 18.

- Tenelanda, R. (2017). *Determinación de los coeficientes de cultivo "Kc" para el riego de la caña de azúcar (Saccharum officinarum, L.) en dos sistemas de siembra*. . Guayaquil: Universidad de Guayaquil.
- Toro, A. (21 de Enero de 2016). *Requerimientos de riego y predicción del rendimiento en el cultivo de banano mediante un modelo de simulación en el Urabá antioqueño*. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- UNALM. (2016). *Sistema de riego en el cultivo de esparrago*. Perú: Agrobanco.
- Zornoza , C. (2016). *Tesis "Aprovechamiento hídrico del Daule, para el abastecimiento de riego"*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil.

ANEXOS

Molinete Global Water

Especificaciones técnicas:

Rango: 0.1-6.1 MPS (0.3-19.9 FPS)

Precisión: 0.1 FPS (0.03048 MPS)

Promedio: Promedio verdadero. Actualizado cada segundo

Pantalla: LCD con protección de UV y deslimbramiento

Control: 4 botones

Datalogger: 30 juegos de datos: MIN, MAX, y PROM

Incluye: Timer, mensaje de batería baja

Tipo de Sensor: Turbo-hélice protegida con elemento magnético

Peso:

- **Instrumento:** 0.91kg (FP111), 1.36kg (FP211), 1.27 kg (FP311)

- **Peso de Envío:** 5.9 kg (FP111), 10.4 kg ((FP211), 8.6 kg ((FP311)

Longitud Telescópica: 1.1 a 1.8m (FP111); 1.7 a 4.6m (FP211);

0.76 a 1.7m (FP311)

Materiales:

- **Sonda:** PVC y aluminio anodizado con rodamiento de acero

- **Computadora:** Carcasa de policarbonato/ABS con cubierta de poliéster

Corriente: Batería interna de litio, vida aproximada de 5 años con uso típico, no reemplazable

Auto Apagado: Después de 5 minutos de inactividad

Temperatura de Operación: -20° a 70° C

Temperatura de Almacenamiento: -30° a 80° C

Estuche: De polietileno rígido con interior de acolchado

Aprovaciones: CE

Anexo N° 1. Especificación técnica del molinete Global Water.

Fuente: www.kosmos.com.mx/agricultura-y-meteorologia/



APÉNDICE

Tabla N° 10. Superficie bajo riego en junta modular Supaypungo por cada canal

Zonal 1	Superficie (Has)
D - 1	482
D - 2	130
Total	612

Fuente: INAR (2009).
Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 11. Superficie bajo riego en junta modular Naranjito y Manantial por cada canal

Zonal 2	Superficie (Has)
C	
1 - C	32.00
1 - 1 - C	275.00
1 - 2 - C	162.00
1 - 2 - C - 1	138.00
1 - 2 - C - 1 - 1	53.00
1 - 2 - C - 3	116.00
1 - 2 - 1 - C	131.00
1 - 2 - 2 - C	129.00
1 - 2 - 2 - C - 1	14.00
Total	1,050.00

Fuente: INAR (2009).
Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 12. Superficie bajo riego en junta modular María Isabel por cada canal

Zonal 3	Superficie (Has)
2 - 1 - C	112.00
2 - 1 - C - 4	87.00
2 - 1 - C - 9	12.00
2 - 1 - C - 10	96.00
Total	307.00

Fuente: INAR (2009).
Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 13. Superficie bajo riego en junta modular Galápagos, Chaparral y Vuelta del Piano por cada canal

Zonal 4	Superficie (Has)
2 - 2 - C	135.00
2 - 2 - C - 1	19.00
2 - 2 - C - 2	23.00
2 - 2 - C - 3	17.00
2 - 2 - 1 - C	232.00
2 - 2 - 1 - C - 2	69.00
2 - 2 - 1 - C - 7	4.00
2 - 2 - 2 - C	358.00
2 - 2 - 2 - C - 2	25.00
Total	882.00

Fuente: INAR (2009).
Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 14. Superficie bajo riego en junta modular América Pérez y Mariscal Sucre por cada canal

Zonal 5	Superficie (Has)
2 - 3 - C	89.00
2 - 3 - C - 1	23.00
2 - 3 - C - 2	15.00
2 - 3 - C - 3	45.00
2 - 3 - C - 4	29.00
2 - 3 - C - 5	4.00
2 - 3 - C - 6	21.00
2 - 3 - C - 7	15.00
2 - 3 - C - 8	21.00
2 - 3 - 1 - C	252.00
2 - 3 - 2 - C	267.00
Total	781.00

Fuente: INAR (2009).
Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 15. Superficie bajo riego en junta modular Río Milagro, Palmares, La Libertad y Atahualpa por cada canal

Zonal 6	Superficie (Has)
2 - C	600.00
2 - 4 - C	444.00
2 - 4 - C - 1	174.00
2 - 4 - C - 1 - 1	74.00
2 - 4 - C - 3	116.00
2 - 4 - C - 5	88.00
2 - 4 - C - 5 - 2	8.00
2 - 4 - C - 9	19.00
2 - 4 - C - 10	50.00
2 - 4 - C - 10 - 3	72.00
2 - 4 - C - 13	24.00
Total	1,669.00

Fuente: INAR (2009).

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 16. Superficie bajo riego en junta modular María Mercedes por cada canal

Zonal 7	Superficie (Has)
M - 1	5,550.00
M - 1 - 1	191.00
M - 1 - 2	18.00
M - 1 - 3	83.00
Total	5,842.00

Fuente: INAR (2009).

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 17. Factor de eficiencias del sistema de riego San Jacinto.

Canal	Eficiencia de conducción (%)	Eficiencia de distribución (%)	Eficiencia de aplicación (%)
Promedio (%)	79.40	77.80	54.96

Fuente: Domínguez (2016)

Elaboración: Autor, 2021.

Mediante el triángulo de textura con la información de limo (%), arcilla (%) y arena (%), se ha determinado la clase de textura de la tabla N°2.

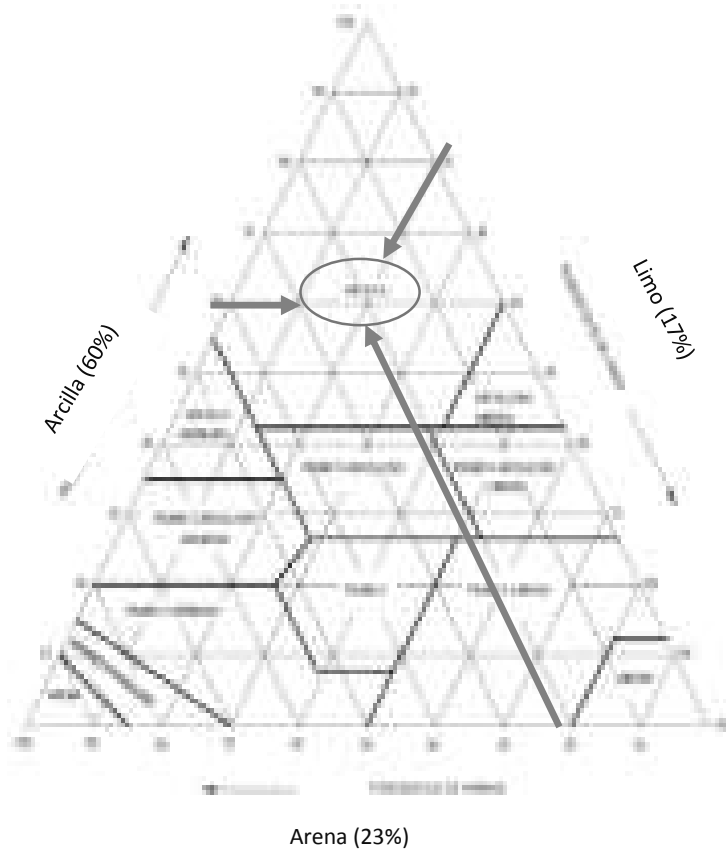


Figura N° 3. Triángulo de las texturas.
Fuente: Toro (2016)

	Dic	Nov	Oct	Sep	Ago	Jul	Jun	May	Abr	Mar	Feb	Ene	TOTAL
P	292.9	309.6	248.6	217	64.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1342.3
ETP	111.9	102.7	123.9	122.2	112.9	66.9	62.4	103.9	110	108.9	111.1	120.9	1111.9
P-ETP	181.0	206.9	124.7	94.8	47.9	47.9	62.3	103.9	108.2	108.7	108.9	80.4	213.0
R	32.9	32.9	32.9	32.9	0	0	0	0	0	0	0	0	129.4
APR	32.9	0	0	0	32.9	0	0	0	0	0	0	0	65.8
ETR	111.9	102.7	123.9	122.2	76.7	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	683.3
E	147.1	306.9	124.7	64.0	0	0	0	0	0	0	0	0	702.7
D	0	0	0	0	122.9	47.9	62.3	103.9	108.2	108.7	108.9	80.4	722.2

Figura N° 4. Balance hídrico de la zona de estudio.
Elaborado por: El Autor, 2021.

Abreviaturas:

P	= Precipitación (mm)
ETP	= Evapotranspiración potencial (mm)
R	= Reserva
AR	=Variación de la reserva
ETR	= Evapotranspiración real
E	=Excedente o esorrentía
D	=Déficit hídrico anual

Tabla N° 18. Evapotranspiración de referencia (ETo) del área de estudio

ESTACIÓN:	MILAGRO (M0037)	LATITUD:	02°06'56"S
PROVINCIA:	GUAYAS	LONGITUD:	79°35'57"W
PERIODO:	1959 - 2014	ELEVACIÓN:	13m

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	16.4	36	98	4.1	2.9	13.7	3.48
Febrero	17.1	34.9	98	3.6	2.9	14	3.3
Marzo	16.5	34.8	98	3.9	3.9	15.6	3.56
Abril	17	34.9	98	3.8	4.2	15.5	3.52
Mayo	14.5	34.5	98	3.7	3.5	13.5	3.29
Junio	15.2	34	97	3.8	2.1	11	2.89
Julio	14	33.5	97	4.9	2.2	11.4	3.06
Agosto	14.9	34.5	97	4.6	2.6	12.6	3.28
Septiembre	16	34.8	96	6.3	2.5	13.1	3.59
Octubre	15	35	96	5.9	2	12.5	3.62
Noviembre	15.7	35	95	5.9	2.3	12.8	3.65
Diciembre	16.6	35.5	97	5.3	2.9	13.5	3.52
Promedio	15.7	34.8	97	4.7	2.8	13.3	3.4

Fuente: INAMHI (1959-2014)

Elaborado por: El Autor, 2021.

Caudal del canal de riego C

Cálculo del tirante promedio por franja de la sección transversal del canal principal C.

$$d_1 = \frac{0 + (2 * 0.71) + 1.62}{4} = \frac{3.04}{4} = 0.76 \text{ m}$$

$$d_2 = \frac{1.62 + (2 * 1.62) + 1.62}{4} = \frac{6.48}{4} = 1.62 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{1.62 + (2 * 0.71) + 0}{4} = \frac{3.04}{4} = 0.76 \text{ m}$$

Cálculo del área por cada franja de la sección transversal del canal principal C.

$$A_1 = 1.42 \text{ m} * 0.76 \text{ m} = 1.08 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 3.2 \text{ m} * 1.62 \text{ m} = 5.18 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 1.42 \text{ m} * 0.76 \text{ m} = 1.08 \text{ m}^2$$

Sumatoria del área de la sección transversal del canal

$$A_t = 1.08 + 5.18 + 1.08 = 7.34 \text{ m}^2$$

Tabla N° 19. Velocidad promedio del canal C

Punto de aforo	Velocidad (m/s)			Promedio (m/s)
	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	
1	0.9	0.7	--	0.80
2	1.0	1.1	0.8	0.96
3	1.0	1.1	0.8	0.96
4	0.9	0.7	--	0.80
Velocidad promedio				0.88

Elaborado por: El Autor, 2021.

Caudal del canal principal C.

$$Q_C = A * v = m^3/s$$

$$Q_C = 7.34 \text{ m}^2 * 0.88 \text{ m/s} = 6.46 \text{ m}^3/s$$

$$Q_C = 6.46 \text{ m}^3/s$$

Caudal del canal de riego D- 1

Cálculo del tirante por franjas de la sección transversal del canal D-1.

$$d_1 = \frac{0 + (2 * 0.51) + 0.59}{4} = \frac{1.61}{4} = 0.403 \text{ m}$$

$$d_2 = \frac{0.59 + (2 * 0.59) + 0.59}{4} = \frac{2.36}{4} = 0.59 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{0.59 + (2 * 0.51) + 0}{4} = \frac{1.61}{4} = 0.403 \text{ m}$$

Cálculo del área por cada franja de la sección transversal del canal D-1.

$$A_1 = 0.28 \text{ m} * 0.403 \text{ m} = 0.11 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 1.27 \text{ m} * 0.59 \text{ m} = 0.75 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0.28 \text{ m} * 0.403 \text{ m} = 0.11 \text{ m}^2$$

Sumatoria del área de la sección transversal del canal D-1

$$A_t = 0.11 + 0.75 + 0.11 = 0.97 \text{ m}^2$$

$$A_t = 0.97 \text{ m}^2$$

Velocidad del canal D-1

Tabla N° 20. Velocidad promedio del canal D-1

Punto de aforo	Velocidad (m/s)		Promedio (m/s)
	Lectura 1	Lectura 2	
1	0.8	0.7	0.75
2	0.9	0.8	0.85
3	0.8	0.7	0.75
Velocidad promedio			0.78

Elaborado por: El Autor, 2021.

Caudal del canal D-1.

$$Q_{D-1} = 0.97 \text{ m}^2 * 0.78 \text{ m/s} = 0.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{D-1} = 0.76 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal del canal de riego D- 2

Cálculo del tirante promedio por franja de la sección transversal del canal D-2.

$$d_1 = \frac{0 + (2 * 0.23) + 0.45}{4} = \frac{0.91}{4} = 0.23 \text{ m}$$

$$d_2 = \frac{0.45 + (2 * 0.45) + 0.45}{4} = \frac{1.80}{4} = 0.45 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{0.45 + (2 * 0.23) + 0}{4} = \frac{0.91}{4} = 0.23 \text{ m}$$

Cálculo del área por cada franja de la sección transversal del canal D-2.

$$A_1 = 0.44 \text{ m} * 0.23 \text{ m} = 0.10 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.32 \text{ m} * 0.45 \text{ m} = 0.144 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0.44 \text{ m} * 0.23 \text{ m} = 0.10 \text{ m}^2$$

Sumatoria del área de la sección transversal del canal D-2

$$A_t = 0.10 + 0.144 + 0.10 = 0.344 \text{ m}^2$$

$$A_t = 0.344 \text{ m}^2$$

Velocidad del canal D-2

Tabla N° 21. Velocidad promedio del canal D-2

Punto aforo	de Velocidad (m/s)		Promedio (m/s)
	Lectura 1 (m/s)	Lectura 2 (m/s)	
1	1.1	0.8	0.95
2	1.1	0.9	1.00
Velocidad promedio			0.98

Elaborado por: El Autor, 2021.

Caudal del canal D-2.

$$Q_{D-2} = 0.344 \text{ m}^2 * 0.98 \text{ m/s} = 0.34 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{D-2} = 0.34 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal del canal de riego M-1

Cálculo del tirante promedio por franja de la sección transversal del canal M-1.

$$d_1 = \frac{0 + (2 * 0.70) + 1.10 + 1.45}{5} = \frac{3.95}{5} = 0.79 \text{ m}$$

$$d_2 = \frac{1.45 + (2 * 1.40) + 1.27}{4} = \frac{5.52}{4} = 1.38 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{1.27 + (2 * 0.85) + 0.49 + 0}{5} = \frac{3.46}{5} = 0.69 \text{ m}$$

Cálculo del área por cada franja de la sección transversal del canal M-1.

$$A_1 = 3.0 \text{ m} * 0.79 \text{ m} = 2.37 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 3.0 \text{ m} * 1.38 \text{ m} = 4.14 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 5.0 \text{ m} * 0.69 \text{ m} = 3.45 \text{ m}^2$$

Sumatoria del área de la sección transversal del canal M-1

$$A_t = 2.37 + 4.14 + 3.45 = 9.96 \text{ m}^2$$

$$A_t = 9.96 \text{ m}^2$$

Velocidad del canal M-1

Tabla N° 22. Velocidad promedio del canal M-1

Punto de aforo	Velocidad (m/s)		Promedio (m/s)
	Lectura 1	Lectura 2	
1	0.2	0.1	0.15
2	0.6	0.5	0.55
3	0.7	0.6	0.65
4	0.5	0.4	0.45
Velocidad promedio			0.45

Elaborado por: El Autor, 2021.

Caudal del canal M-1.

$$Q_{M-1} = 9.96 \text{ m}^2 * 0.45 \text{ m/s} = 4.48 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{M-1} = 4.48 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal del canal de riego M-1-1

Cálculo del tirante promedio por franja de la sección transversal del canal M-1-1.

$$d_1 = \frac{0 + (2 * 0.32) + 0.54}{4} = \frac{1.18}{4} = 0.30 \text{ m}$$

$$d_2 = \frac{0.54 + (2 * 0.54) + 0.54}{4} = \frac{2.16}{4} = 0.54 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{0.54 + (2 * 0.32) + 0}{4} = \frac{3.46}{4} = 0.30 \text{ m}$$

Cálculo del área por cada franja de la sección transversal del canal M-1-1.

$$A_1 = 0.51 \text{ m} * 0.30 \text{ m} = 0.15 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.60 \text{ m} * 0.54 \text{ m} = 0.32 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0.51 \text{ m} * 0.30 \text{ m} = 0.15 \text{ m}^2$$

Sumatoria del área de la sección transversal del canal M-1-1

$$A_t = 0.15 + 0.32 + 0.15 = 0.62 \text{ m}^2$$

$$A_t = 0.62 \text{ m}^2$$

Velocidad del canal M-1-1

Tabla N° 23. Velocidad promedio del canal M-1-1

Punto de aforo	Velocidad (m/s)		Promedio (m/s)
	Lectura 1 (m/s)	Lectura 2 (m/s)	
1	0.7	0.5	0.60
2	0.6	0.5	0.55
Velocidad promedio			0.58

Elaborado por: El Autor, 2021.

Caudal del canal M-1-1.

$$Q_{M-1-1} = 0.62 \text{ m}^2 * 0.58 \text{ m/s} = 0.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{M-1-1} = 0.36 \text{ m}^3/\text{s}$$

Caudal del canal de riego M-1-2

Cálculo del tirante promedio por franja de la sección transversal del canal M-1-2.

$$d_1 = \frac{0 + (2 * 0.4) + 0.60}{4} = \frac{1.40}{4} = 0.35 \text{ m}$$

$$d_2 = \frac{0.60 + (2 * 0.57) + 0.62 + 0.59}{5} = \frac{2.95}{5} = 0.59 \text{ m}$$

$$d_3 = \frac{0.59 + (2 * 0.60) + 0.37 + 0}{5} = \frac{2.16}{5} = 0.43 \text{ m}$$

Cálculo del área por cada franja de la sección transversal del canal M-1-2.

$$A_1 = 0.29 \text{ m} * 0.35 \text{ m} = 0.10 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 0.65 \text{ m} * 0.54 \text{ m} = 0.35 \text{ m}^2$$

$$A_3 = 0.39 \text{ m} * 0.30 \text{ m} = 0.12 \text{ m}^2$$

Sumatoria del área de la sección transversal del canal M-1-2

$$A_t = 0.10 + 0.35 + 0.12 = 0.57 \text{ m}^2$$

$$A_t = 0.57 \text{ m}^2$$

Velocidad del canal M-1-2

Tabla N° 24. Velocidad promedio del canal M-1-2

Punto de aforo	Velocidad (m/s)		Promedio (m/s)
	Lectura 1 (m/s)	Lectura 2 (m/s)	
1	0.2	0.2	0.20
2	0.2	0.1	0.15
Velocidad promedio			0.18

Elaborado por: El Autor, 2021.

Caudal del canal M-1-1.

$$Q_{M-1-2} = 0.57 \text{ m}^2 * 0.58 \text{ m/s} = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{M-1-2} = 0.18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{total} = Q_C + Q_{D-1} + Q_{D-2} + Q_{M-1} + Q_{M-1-1} + Q_{M-1-2} = \text{m}^3/\text{s}$$

$$Q_{total} = 6.46 + 0.76 + 0.34 + 4.48 + 0.36 + 0.18 = 12.58 \text{ m}^3/\text{s}$$

Lámina de riego para los cultivos

$$I_{\text{cultivo}} = \frac{CC - PMP}{100} * Pea * Zr * CUC = mm$$

$$I_{\text{arroz}} = \frac{33.90 - 23.54}{100} * 1.2 * 0.75 * 63 = 5.90 \text{ mm}$$

$$I_{\text{Banano}} = \frac{33.90 - 23.54}{100} * 1.2 * 0.70 * 63 = 5.48 \text{ mm}$$

$$I_{\text{cacao}} = \frac{33.90 - 23.54}{100} * 1.2 * 0.85 * 63 = 6.65 \text{ mm}$$

$$I_{\text{Caña de azúcar}} = \frac{33.90 - 23.54}{100} * 1.2 * 0.8 * 63 = 6.27 \text{ mm}$$

$$I_{\text{maíz}} = \frac{33.90 - 23.54}{100} * 1.2 * 1.0 * 63 = 7.83 \text{ mm}$$

$$I_{\text{plátano}} = \frac{33.90 - 23.54}{100} * 1.2 * 0.70 * 63 = 5.48 \text{ mm}$$

Coefficiente de cultivo (Kc) para arroz

Coefficiente de cultivo inicial

$$K_{c_{ini}} = 0.30 + \frac{(5.90-10)}{(40-10)} [0.55 - 0.30]$$

$$K_{c_{ini}} = 0.30 + (-0.1367) * 0.25$$

$$K_{c_{ini}} = 0.25$$

Coefficiente de cultivo medio

$$K_{c_{medio}} = 1.20 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{0.80}{3}\right)^{0.3}$$

$$K_{c_{medio}} = 1.20 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](0.27)^{0.3}$$

$$K_{c_{medio}} = 1.20 + [0.108 - 0.036](0.27)^{0.3}$$

$$K_{c_{medio}} = 1.20 + [0.072](0.27)^{0.3}$$

$$K_{c_{medio}} = 1.20 + 0.072 \times 0.68$$

$$K_{c_{medio}} = 1.25$$

Coefficiente de cultivo final

$$K_{c_{final}} = 0.90 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{1.00}{3}\right)^{0.3}$$

$$K_{c_{final}} = 0.90 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](0.33)^{0.3}$$

$$K_{c_{final}} = 0.90 + [0.108 - 0.036](0.33)^{0.3}$$

$$K_{c_{final}} = 0.90 + [0.072](0.33)^{0.3}$$

$$K_{c_{final}} = 0.90 + 0.072 \times 0.72$$

$$K_{c_{final}} = 0.95$$

Coefficiente de cultivo (Kc) para cacao

Coefficiente de cultivo inicial

$$K_{c_{ini}} = 0.30 + \frac{(6.65-10)}{(40-10)} [0.55 - 0.30]$$

$$K_{c_{ini}} = 0.30 + (-0.11) * 0.25$$

$$K_{c_{ini}} = 0.27$$

Coefficiente de cultivo medio

$$K_{c_{medio}} = 1.05 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{3.00}{3}\right)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.05 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](1)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.05 + [0.108 - 0.036](1)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.05 + [0.072](1)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.05 + 0.072 \times 1.00$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.12$$

Coefficiente de cultivo final

$$Kc_{\text{final}} = 1.05 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{3.00}{3}\right)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.05 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](1)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.05 + [0.108 - 0.036](1)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.05 + [0.072](1)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.05 + 0.072 \times 1$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.12$$

Coefficiente de cultivo (Kc) para maíz

Coefficiente de cultivo inicial

$$Kc_{\text{ini}} = 0.30 + \frac{(7.83-10)}{(40-10)} [0.55 - 0.30]$$

$$Kc_{\text{ini}} = 0.30 + (-0.072) * 0.25$$

$$Kc_{\text{ini}} = 0.28$$

Coefficiente de cultivo medio

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{1.5}{3}\right)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](0.50)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + [0.108 - 0.036](0.50)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + [0.072](0.50)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + 0.072 \times 0.81$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.26$$

Coefficiente de cultivo final

$$Kc_{\text{final}} = 0.35 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{2}{3}\right)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 0.35 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](0.67)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 0.35 + [0.108 - 0.036](0.67)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 0.35 + [0.072](0.67)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 0.35 + 0.072 \times 0.89$$

$$Kc_{\text{final}} = 0.41$$

Coefficiente de cultivo (Kc) para banano

Coefficiente de cultivo inicial

$$Kc_{\text{ini}} = 0.30 + \frac{(5.48-10)}{(40-10)} [0.55 - 0.30]$$

$$Kc_{\text{ini}} = 0.30 + (-0.151) * 0.25$$

$$Kc_{\text{ini}} = 0.26$$

Coefficiente de cultivo medio

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{1.90}{3}\right)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](0.63)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + [0.108 - 0.036](0.63)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + [0.072](0.63)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.20 + 0.072 \times 0.87$$

$$Kc_{\text{medio}} = 1.26$$

Coefficiente de cultivo final

$$Kc_{\text{final}} = 1.10 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{3.40}{3}\right)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.10 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](1.13)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.10 + [0.108 - 0.036](1.13)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.10 + [0.072](1.13)^{0.3}$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.10 + 0.072 \times 1.04$$

$$Kc_{\text{final}} = 1.17$$

Coefficiente de cultivo (Kc) para caña de azúcar

Coefficiente de cultivo inicial

$$K_{c_{ini}} = 0.30 + \frac{(6.27-10)}{(40-10)} [0.55 - 0.30]$$

$$K_{c_{ini}} = 0.30 + (-0.124) * 0.25$$

$$K_{c_{ini}} = 0.27$$

Coefficiente de cultivo medio

$$K_{c_{medio}} = 1.25 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{2}{3}\right)^{0.3}$$

$$K_{c_{medio}} = 1.25 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](0.66)^{0.3}$$

$$K_{c_{medio}} = 1.25 + [0.108 - 0.036](0.66)^{0.3}$$

$$K_{c_{medio}} = 1.25 + [0.072](0.66)^{0.3}$$

$$K_{c_{medio}} = 1.25 + 0.072 \times 0.88$$

$$K_{c_{medio}} = 1.31$$

Coefficiente de cultivo final

$$K_{c_{final}} = 0.75 + [0.04 (4.7 - 2) - 0.004 (54 - 45)] \left(\frac{3.5}{3}\right)^{0.3}$$

$$K_{c_{final}} = 0.75 + [0.04 (2.70) - 0.004 (9)](1.167)^{0.3}$$

$$K_{c_{final}} = 0.75 + [0.108 - 0.036](1.17)^{0.3}$$

$$K_{c_{final}} = 0.75 + [0.072](1.17)^{0.3}$$

$$K_{c_{final}} = 0.75 + 0.072 \times 1.048$$

$$K_{c_{final}} = 0.83$$

Uso consuntivo para el cultivo de la caña de azúcar.

Nombre del suelo: **ARCILLOSO-CAÑA**

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	130.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	192	mm/día
Profundidad radicular máxima	80	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	13	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	113.1	mm/metro

Figura N° 5. Coeficiente de cultivo (Kc) para caña de azúcar.
Elaborado por: El Autor, 2021.

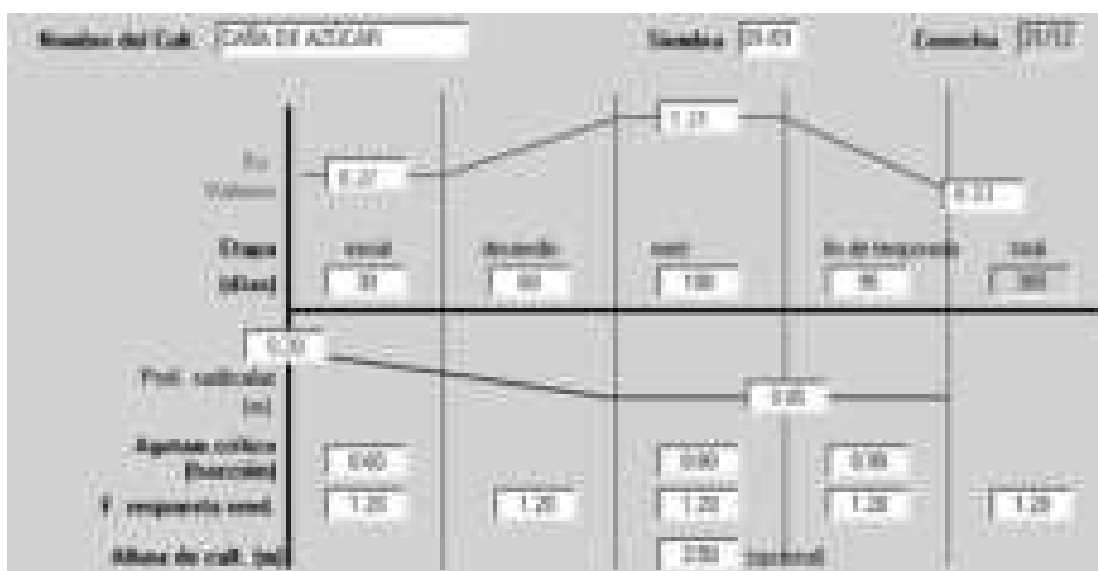


Figura N° 6. Coeficiente de cultivo (Kc) para caña de azúcar.
Elaborado por: El Autor, 2021.

La figura N°6, indica el modelo del ciclo vegetativo del CROPWAT y los valores del coeficiente de cultivo Kc estimado para la planta de caña de azúcar, y los números de día por cada fase de desarrollo del vegetal y también se indica el total de los días que dura el ciclo agronómico del cultivo.

Tabla N° 25. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de caña de azúcar.

Mes	Dec	Etapa del cultivo	Kc	ETc (mm/día)	ETc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req. Riego (mm/dec)
Ene	1	Inic	0.27	1.15	11.50	52.10	0.00
Ene	2	Inic	0.33	1.15	11.50	75.70	0.00
Ene	3	Des	0.33	1.13	12.50	82.40	0.00
Feb	1	Des	0.45	1.52	15.20	90.80	0.00
Feb	2	Des	0.64	2.13	21.30	101.10	0.00
Feb	3	Des	0.81	2.76	22.10	95.70	0.00
Mar	1	Des	0.98	3.42	34.20	90.80	0.00
Mar	2	Des	1.17	4.19	41.90	88.30	0.00
Mar	3	Des	1.37	4.87	53.60	75.50	0.00
Abr	1	Med	1.47	5.19	51.90	62.40	0.00
Abr	2	Med	1.47	5.16	51.60	51.20	0.50
Abr	3	Med	1.47	5.05	50.50	36.00	14.60
May	1	Med	1.47	4.95	49.50	16.70	32.80
May	2	Med	1.47	4.84	48.40	0.10	48.20
May	3	Med	1.47	4.64	51.00	0.10	51.00
Jun	1	Med	1.47	4.44	44.40	0.10	44.30
Jun	2	Med	1.47	4.24	42.40	0.00	42.40
Jun	3	Med	1.47	4.33	43.30	0.00	43.30
Jul	1	Med	1.47	4.41	44.10	0.00	44.10
Jul	2	Med	1.47	4.50	45.00	0.00	45.00
Jul	3	Med	1.47	4.60	50.60	0.00	50.60
Ago	1	Med	1.47	4.71	47.10	0.00	47.10
Ago	2	Med	1.47	4.82	48.20	0.00	48.20
Ago	3	Med	1.47	4.97	54.60	0.00	54.60
Sep	1	Med	1.47	5.12	51.20	0.00	51.20
Sep	2	Med	1.47	5.27	52.70	0.00	52.70
Sep	3	Fin	1.47	5.28	52.80	0.00	52.80
Oct	1	Fin	1.43	5.17	51.70	0.00	51.70
Oct	2	Fin	1.39	5.02	50.20	0.00	50.20
Oct	3	Fin	1.34	4.86	53.50	0.00	53.50
Nov	1	Fin	1.29	4.70	47.00	0.00	47.00
Nov	2	Fin	1.25	4.55	45.50	0.00	45.50
Nov	3	Fin	1.2	4.33	43.30	0.10	43.20
Dic	1	Fin	1.16	4.12	41.20	0.00	41.10
Dic	2	Fin	1.11	3.91	39.10	0.00	39.10
Dic	3	Fin	1.06	3.73	41.00	14.30	26.70
Total (mm/año)					1515.60	933.40	1121.20

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 26. Requerimiento hídrico total para el cultivo de caña de azúcar

CULTIVO	Area (Ha)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Caña de azúcar	9,213.03	0	0	0	139,116.75	1,216,119.96	1,197,693.90	1,287,060.29	1,381,033.20	1,443,681.80	1,431,704.86	1,250,208.17	984,872.91
Uso consuntivo (mm/mes)	9,213.03	0.00	0.00	0.00	139,116.75	1,216,119.96	1,197,693.90	1,287,060.29	1,381,033.20	1,443,681.80	1,431,704.86	1,250,208.17	984,872.91
Requerimientos de lavado de sales	10.0%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Eficiencia de conducción	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%
Eficiencia de distribución	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%
Eficiencia de aplicación en riego superficial	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%
Eficiencia de captación	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%
Eficiencia del sistema		74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%
Lámina total (mm/mes)		0.00	0.00	0.00	201,173.4	1,758,602.1	1,731,956.6	1,861,187.24	1,997,079.2	2,087,673.8	2,070,354.3	1,807,896.2	1,424,201
Lámina total (mm/día)		0.00	0.00	0.00	6,705.78	56,729.10	57,731.89	60,038.30	64,421.91	69,589.13	66,785.62	60,263.21	45,941.98
Caudal del sistema (m3/s)		0.00	0.00	0.00	0.78	6.57	6.68	6.95	7.46	8.05	7.73	6.97	5.32
Caudal ficticio continuo (l/s/ha)		0.00	0.00	0.00	0.08	0.71	0.73	0.75	0.81	0.87	0.84	0.76	0.58

Elaborado por: El Autor, 2021

Uso consuntivo para el cultivo de cacao.

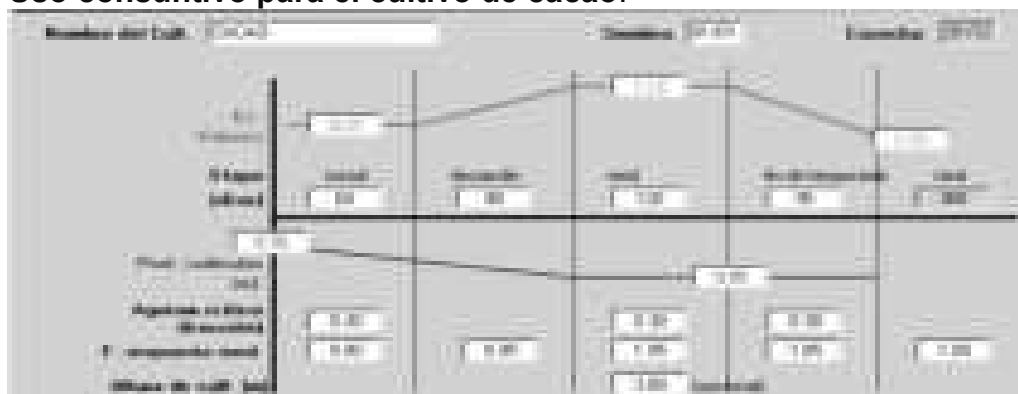


Figura N° 7. Coeficiente de cultivo (Kc) para cacao.

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 27. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de cacao.

Mes	Dec.	Etapa del cultivo	Kc	ETc (mm/día)	ETc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req. Riego (mm/dec)
Ene	1	Inic	0.27	0.94	9.40	52.10	0.00
Ene	2	Inic	0.27	0.94	9.40	75.70	0.00
Ene	3	Inic	0.27	0.92	10.20	82.40	0.00
Feb	1	Inic	0.27	0.91	9.10	90.80	0.00
Feb	2	Inic	0.27	0.89	8.90	101.10	0.00
Feb	3	Inic	0.27	0.92	7.30	95.70	0.00
Mar	1	Des	0.32	1.12	11.20	90.80	0.00
Mar	2	Des	0.43	1.55	15.50	88.30	0.00
Mar	3	Des	0.55	1.96	21.60	75.50	0.00
Abr	1	Des	0.67	2.37	23.70	62.40	0.00
Abr	2	Des	0.78	2.76	27.60	51.20	0.00
Abr	3	Des	0.90	3.09	30.90	36.00	0.00
May	1	Des	1.01	3.40	34.00	16.70	17.30
May	2	Des	1.12	3.70	37.00	0.10	36.90
May	3	Med	1.24	3.92	43.10	0.10	43.00
Jun	1	Med	1.29	3.89	38.90	0.10	38.80
Jun	2	Med	1.29	3.72	37.20	0.00	37.20
Jun	3	Med	1.29	3.79	37.90	0.00	37.90
Jul	1	Med	1.29	3.87	38.70	0.00	38.70
Jul	2	Med	1.29	3.94	39.40	0.00	39.40
Jul	3	Med	1.29	4.03	44.40	0.00	44.40
Ago	1	Med	1.29	4.13	41.30	0.00	41.30
Ago	2	Med	1.29	4.22	42.20	0.00	42.20
Ago	3	Med	1.29	4.35	47.90	0.00	47.90
Sep	1	Med	1.29	4.48	44.80	0.00	44.80
Sep	2	Med	1.29	4.62	46.20	0.00	46.20
Sep	3	Fin	1.30	4.67	46.70	0.00	46.70
Oct	1	Fin	1.32	4.77	47.70	0.00	47.70
Oct	2	Fin	1.32	4.79	47.90	0.00	47.90
Oct	3	Fin	1.32	4.80	52.80	0.00	52.80
Nov	1	Fin	1.32	4.82	48.20	0.00	48.20
Nov	2	Fin	1.32	4.83	48.30	0.00	48.30
Nov	3	Fin	1.32	4.77	47.70	0.10	47.50
Dic	1	Fin	1.32	4.71	47.10	0.00	47.00
Dic	2	Fin	1.32	4.65	46.50	0.00	46.50
Dic	3	Fin	1.32	4.63	50.90	14.30	36.60
Total (mm/año)					1241.50	933.40	1025.30

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 28. Requerimiento hídrico total para el cultivo de cacao.

Patrón de cultivo	Área (Ha)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Cacao	501.44	0	0	0	0	48,739.97	57,114.02	61,426.40	65,889.22	69,048.29	74,413.70	72,207.36	65,237.34
Uso consuntivo (mm/mes)	501.44	0.00	0.00	0.00	0.00	48,739.97	57,114.02	61,426.40	65,889.22	69,048.29	74,413.70	72,207.36	65,237.34
Requerimientos de lavado de sales	10.0%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Eficiencia de conducción, canal de hormigón (%)	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%
Eficiencia de distribución en canal hormigón (%)	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%
Eficiencia de aplicación en riego superficial	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%
Eficiencia de captación (%)	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%
Eficiencia del sistema (%)		0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
Lámina total (mm/mes)		0.00	0.00	0.00	0.00	70,481.71	82,591.22	88,827.25	95,280.83	99,849.09	107,607.88	104,417.34	94,338.16
Lámina total (mm/día)		0.00	0.00	0.00	0.00	2,273.60	2,753.04	2,865.40	3,073.58	3,328.30	3,471.22	3,480.58	3,043.17
Caudal del sistema (m3/s)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.32	0.33	0.36	0.39	0.40	0.40	0.35
Caudal ficticio continuo (l/s/ha)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.52	0.64	0.66	0.71	0.77	0.80	0.80	0.70

Elaborado por: El Autor, 2021

Uso consuntivo para el cultivo de banano.

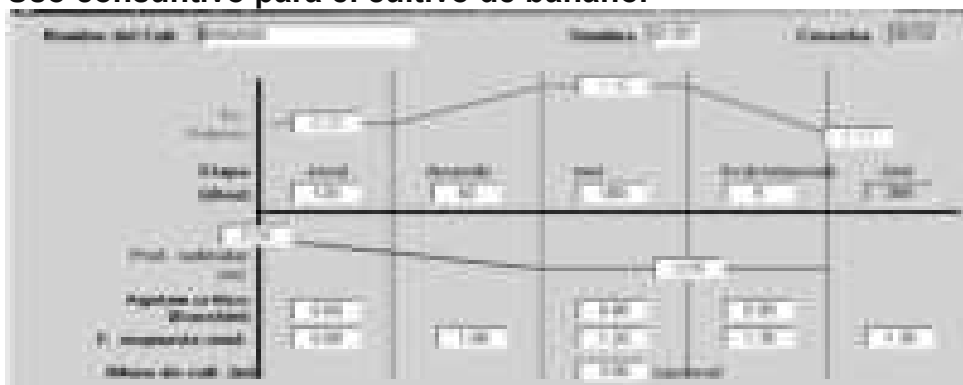


Figura N° 8. Coeficiente de cultivo (Kc) para banano.

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 29. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de banano.

Mes	Dec.	Etapas del cultivo	Kc	ETc (mm/día)	ETc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req. Riego (mm/dec)
Ene	1	Inic	0.20	0.70	7.00	52.10	0.00
Ene	2	Inic	0.20	0.70	7.00	75.70	0.00
Ene	3	Inic	0.20	0.68	7.50	82.40	0.00
Feb	1	Inic	0.20	0.67	6.70	90.80	0.00
Feb	2	Inic	0.20	0.66	6.60	101.10	0.00
Feb	3	Inic	0.20	0.68	5.40	95.70	0.00
Mar	1	Inic	0.20	0.70	7.00	90.80	0.00
Mar	2	Inic	0.20	0.71	7.10	88.30	0.00
Mar	3	Inic	0.20	0.71	7.80	75.50	0.00
Abr	1	Inic	0.20	0.71	7.10	62.40	0.00
Abr	2	Inic	0.20	0.70	7.00	51.20	0.00
Abr	3	Inic	0.20	0.69	6.90	36.00	0.00
May	1	Des	0.31	1.06	10.60	16.70	0.00
May	2	Des	0.52	1.72	17.20	0.10	17.10
May	3	Des	0.74	2.35	25.80	0.10	25.70
Jun	1	Des	0.96	2.91	29.10	0.10	29.00
Jun	2	Des	1.17	3.38	33.80	0.00	33.80
Jun	3	Med	1.38	4.06	40.60	0.00	40.60
Jul	1	Med	1.45	4.36	43.60	0.00	43.60
Jul	2	Med	1.45	4.45	44.50	0.00	44.50
Jul	3	Med	1.45	4.55	50.10	0.00	50.10
Ago	1	Med	1.45	4.66	46.60	0.00	46.60
Ago	2	Med	1.45	4.77	47.70	0.00	47.70
Ago	3	Med	1.45	4.91	54.00	0.00	54.00
Sep	1	Med	1.45	5.06	50.60	0.00	50.60
Sep	2	Med	1.45	5.21	52.10	0.00	52.10
Sep	3	Med	1.45	5.23	52.30	0.00	52.30
Oct	1	Med	1.45	5.25	52.50	0.00	52.50
Oct	2	Med	1.45	5.26	52.60	0.00	52.60
Oct	3	Med	1.45	5.28	58.10	0.00	58.10
Nov	1	Med	1.45	5.29	52.90	0.00	52.90
Nov	2	Med	1.45	5.30	53.00	0.00	53.00
Nov	3	Med	1.45	5.24	52.40	0.10	52.30
Dic	1	Med	1.45	5.17	51.70	0.00	51.70
Dic	2	Med	1.45	5.11	51.10	0.00	51.10
Dic	3	Fin	1.43	4.99	54.90	14.30	40.60
Total (mm/año)					1161.00	933.40	1052.40

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 30. Requerimiento hídrico total para el cultivo de banano.

Patrón de cultivo	Área (Ha)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Banano	1,197.87	0	0	0	0	51,268.84	123,859.76	165,545.63	177,644.12	185,669.85	195,492.38	189,503.03	171,774.56
Uso consuntivo (mm/mes)	1,197.87	0.00	0.00	0.00	0.00	51,268.84	123,859.76	165,545.63	177,644.12	185,669.85	195,492.38	189,503.03	171,774.56
Requerimientos de lavado de sales	10.0%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Eficiencia de conducción, canal de hormigón (%)	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%
Eficiencia de distribución en canal hormigón (%)	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%
Eficiencia de aplicación en riego superficial	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%
Eficiencia de captación (%)	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%
Eficiencia del sistema (%)		0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
Lámina total	(mm/mes)	0.00	0.00	0.00	0.00	74,138.65	179,110.65	239,391.59	256,886.93	268,492.75	282,696.88	274,035.82	248,399.10
Lámina total	(mm/día)	0.00	0.00	0.00	0.00	2,391.57	5,970.35	7,722.31	8,286.68	8,949.76	9,119.25	9,134.53	8,012.87
Caudal del sistema	(m3/s)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.69	0.89	0.96	1.04	1.06	1.06	0.93
Caudal ficticio continuo	(l/s/ha)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.58	0.75	0.80	0.86	0.88	0.88	0.77

Elaborado por: El Autor, 2021

Uso consuntivo para el cultivo de plátano.

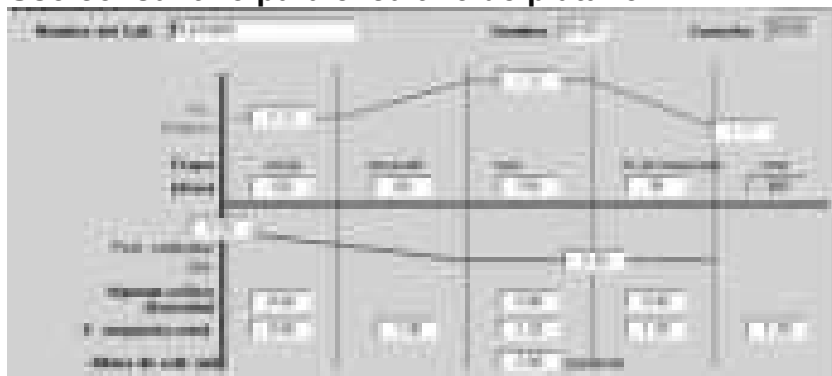


Figura N° 9. Coeficiente de cultivo (Kc) para plátano.
Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 31. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de caña de plátano.

Mes	Dec.	Etapas del cultivo	Kc	ETc (mm/día)	ETc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req. Riego (mm/dec)
Ene	1	Inic	0.20	0.70	7.00	52.10	0.00
Ene	2	Inic	0.20	0.70	7.00	75.70	0.00
Ene	3	Inic	0.20	0.68	7.50	82.40	0.00
Feb	1	Inic	0.20	0.67	6.70	90.80	0.00
Feb	2	Inic	0.20	0.66	6.60	101.10	0.00
Feb	3	Inic	0.20	0.68	5.40	95.70	0.00
Mar	1	Inic	0.20	0.70	7.00	90.80	0.00
Mar	2	Inic	0.20	0.71	7.10	88.30	0.00
Mar	3	Inic	0.20	0.71	7.80	75.50	0.00
Abr	1	Inic	0.20	0.71	7.10	62.40	0.00
Abr	2	Inic	0.20	0.70	7.00	51.20	0.00
Abr	3	Inic	0.20	0.69	6.90	36.00	0.00
May	1	Des	0.31	1.06	10.60	16.70	0.00
May	2	Des	0.52	1.73	17.30	0.10	17.10
May	3	Des	0.74	2.35	25.80	0.10	25.80
Jun	1	Des	0.96	2.91	29.10	0.10	29.00
Jun	2	Des	1.17	3.39	33.90	0.00	33.90
Jun	3	Med	1.38	4.06	40.60	0.00	40.60
Jul	1	Med	1.45	4.37	43.70	0.00	43.70
Jul	2	Med	1.45	4.45	44.50	0.00	44.50
Jul	3	Med	1.45	4.56	50.10	0.00	50.10
Ago	1	Med	1.45	4.66	46.60	0.00	46.60
Ago	2	Med	1.45	4.77	47.70	0.00	47.70
Ago	3	Med	1.45	4.92	54.10	0.00	54.10
Sep	1	Med	1.45	5.07	50.70	0.00	50.70
Sep	2	Med	1.45	5.21	52.10	0.00	52.10
Sep	3	Med	1.45	5.23	52.30	0.00	52.30
Oct	1	Med	1.45	5.25	52.50	0.00	52.50
Oct	2	Med	1.45	5.27	52.70	0.00	52.70
Oct	3	Med	1.45	5.28	58.10	0.00	58.10
Nov	1	Med	1.45	5.30	53.00	0.00	53.00
Nov	2	Med	1.45	5.31	53.10	0.00	53.10
Nov	3	Fin	1.45	5.23	52.30	0.10	52.20
Dic	1	Fin	1.43	5.08	50.80	0.00	50.80
Dic	2	Fin	1.40	4.92	49.20	0.00	49.20
Dic	3	Fin	1.37	4.79	52.70	14.30	38.40
Total (mm/año)					1156.90	933.40	1048.30

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 32. Requerimiento hídrico total para el cultivo de plátano.

Patrón de cultivo	Área (Ha)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Plátano	42.46	0	0	0	0	1,821.53	4,394.61	5,872.22	6,301.06	6,585.55	6,933.72	6,721.42	5,876.46
Uso consuntivo (mm/mes)	42.46	0.00	0.00	0.00	0.00	1,821.53	4,394.61	5,872.22	6,301.06	6,585.55	6,933.72	6,721.42	5,876.46
Requerimientos de lavado de sales	10.0%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Eficiencia de conducción, canal de hormigón (%)	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%
Eficiencia de distribución en canal hormigón (%)	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%
Eficiencia de aplicación en riego superficial	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%
Eficiencia de captación (%)	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%
Eficiencia del sistema (%)		0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
Lámina total (mm/mes)		0.00	0.00	0.00	0.00	2,634.07	6,354.94	8,491.68	9,111.81	9,523.21	10,026.69	9,719.69	8,497.81
Lámina total (mm/día)		0.00	0.00	0.00	0.00	84.97	211.83	273.93	293.93	317.44	323.44	323.99	274.12
Caudal del sistema (m3/s)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03
Caudal ficticio continuo (l/s/ha)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.58	0.75	0.80	0.87	0.88	0.88	0.75

Elaborado por: El Autor, 202

Uso consuntivo para el cultivo de arroz.

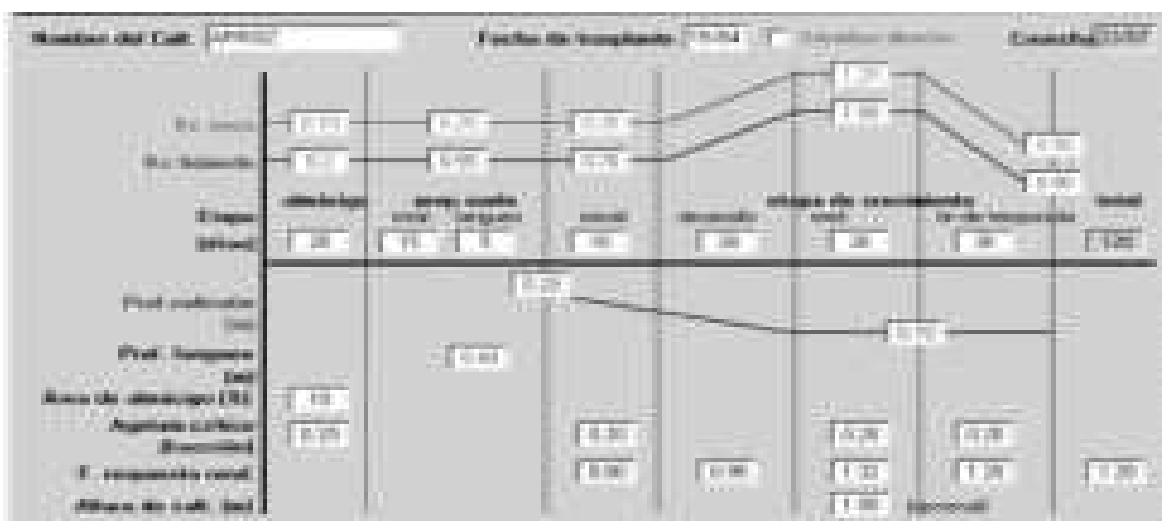


Figura N° 10. Coeficiente de cultivo (Kc) para arroz.
Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 33. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de arroz

Mes	Dec.	Etapas del cultivo	Kc	ETc (mm/día)	ETc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req. Riego (mm/dec)
Mar	2	Almá/PS	0.52	0.96	8.70	79.50	268.80
Mar	3	Almá/PS	0.55	1.93	21.30	75.50	343.70
Abr	1	Inic	0.70	2.47	24.70	62.40	0.00
Abr	2	Des	0.77	2.71	27.10	51.20	0.00
Abr	3	Des	0.90	3.10	31.00	36.00	0.00
May	1	Des	1.03	3.47	34.70	16.70	18.00
May	2	Med	1.09	3.59	35.90	0.10	35.80
May	3	Med	1.09	3.44	37.90	0.10	37.80
Jun	1	Fin	1.09	3.30	33.00	0.10	32.80
Jun	2	Fin	1.07	3.09	30.90	0.00	30.90
Jun	3	Fin	1.04	3.06	30.60	0.00	30.60
Jul	1	Fin	1.01	3.04	27.30	0.00	27.30
Total (mm/ciclo)					343.20	321.50	825.80

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 34. Requerimiento hídrico total para el cultivo de arroz.

Patrón de cultivo	Área (Ha)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Arroz	45.57		0	2,766.10	25,514.64	3,713.96	4,383.83	3,326.61	0	0	0	0	0
Uso consuntivo (mm/mes)	45.57	0.00	0.00	2,766.10	25,514.64	3,713.96	4,383.83	3,326.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Requerimientos de lavado de sales	10.0%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%
Eficiencia de conducción, canal de hormigón (%)	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%
Eficiencia de distribución en canal hormigón (%)	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%
Eficiencia de aplicación en riego superficial	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%
Eficiencia de captación (%)	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%
Eficiencia del sistema (%)		0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74
Lámina total (mm/mes)		0.00	0.00	3,999.99	36,896.11	5,370.67	6,339.35	4,810.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Lámina total (mm/día)		0.00	0.00	129.03	1,229.87	173.25	211.31	155.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Caudal del sistema (m3/s)		0.00	0.00	0.01	0.14	0.02	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Caudal ficticio continuo (l/s/ha)		0.00	0.00	0.33	3.12	0.44	0.54	0.39	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Elaborado por: El Autor, 20

Uso consuntivo para el cultivo de maíz.

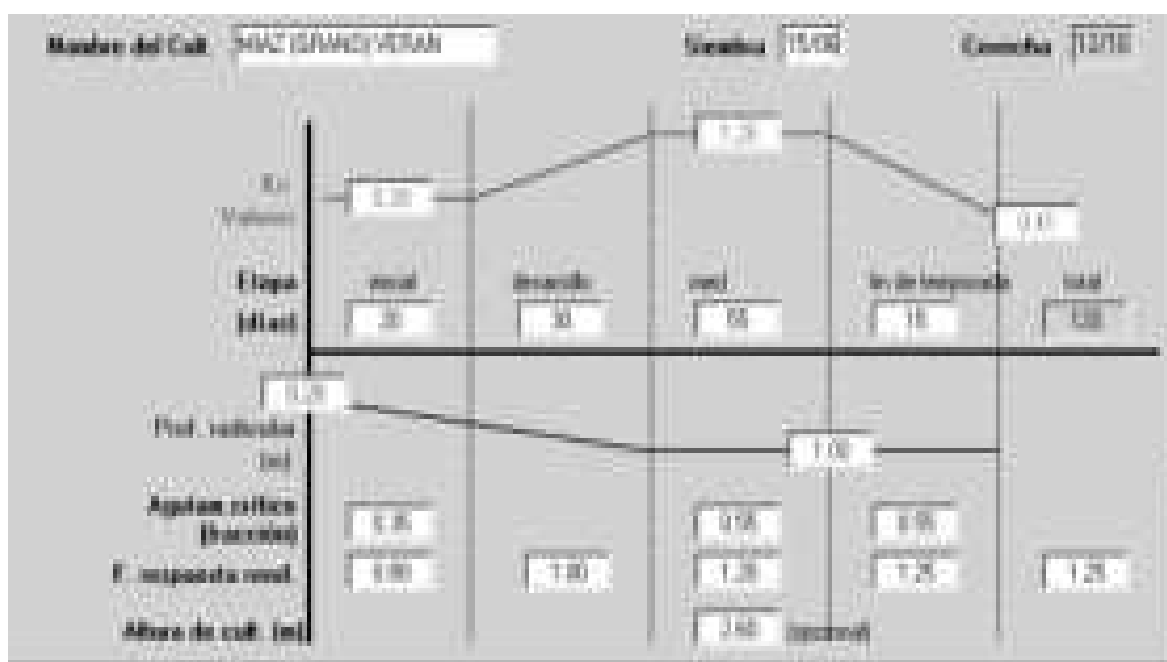


Figura N° 11. Coeficiente de cultivo (Kc) para maíz.
Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 35. Requerimiento hídrico por hectárea para el cultivo de caña de maíz

Mes	Dec.	Etapas del cultivo	Kc	ETc (mm/día)	ETc (mm/dec)	Prec. Efec (mm/dec)	Req. Riego (mm/dec)
Jun	2	Inic	0.28	0.81	4.90	0.00	4.90
Jun	3	Inic	0.28	0.83	8.30	0.00	8.30
Jul	1	Des	0.36	1.09	10.90	0.00	10.90
Jul	2	Des	0.73	2.22	22.20	0.00	22.20
Jul	3	Des	1.13	3.55	39.00	0.00	39.00
Ago	1	Med	1.43	4.59	45.90	0.00	45.90
Ago	2	Med	1.44	4.73	47.30	0.00	47.30
Ago	3	Med	1.44	4.88	53.60	0.00	53.60
Sep	1	Med	1.44	5.02	50.20	0.00	50.20
Sep	2	Med	1.44	5.17	51.70	0.00	51.70
Sep	3	Fin	1.40	5.04	50.40	0.00	50.40
Oct	1	Fin	0.86	3.10	31.00	0.00	31.00
Oct	2	Fin	0.44	1.61	3.20	0.00	3.20
Total (mm/ciclo)					418.60	0.00	418.60

Elaborado por: El Autor, 2021

Tabla N° 36. Requerimiento hídrico total para el cultivo de maíz

Patrón de cultivo	Área (Ha)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
Maíz duro	142.63	0	0	0	0	0	1,882.72	10,283.62	20,938.08	21,722.55	4,877.95	0	0
Uso consuntivo (mm/mes)	142.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0	1,882.72	10,283.62	20,938.08	21,722.55	4,877.95	0	0
Requerimientos de lavado de sales	10.0%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	0	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	10.00%	0	0
Eficiencia de conducción, canal de hormigón (%)	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	0	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	79.40%	0	0
Eficiencia de distribución en canal hormigón (%)	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	0	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	77.80%	0	0
Eficiencia de aplicación en riego superficial	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	0	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	54.96%	0	0
Eficiencia de captación (%)	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	0	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	85.00%	0	0
Eficiencia del sistema (%)		0.74	0.74	0.74	0.74	0	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0	0
Lámina total (mm/mes)		0.00	0.00	0.00	0.00	0	2,722.56	14,870.90	30,278.06	31,412.46	7,053.89	0	0
Lámina total (mm/día)		0.00	0.00	0.00	0.00	0	90.75	479.71	976.71	1,047.08	227.54	0	0
						0						0	0
Caudal del sistema (m3/s)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.06	0.11	0.12	0.03	0.00	0.00
Caudal ficticio continuo (l/s/ha)		0.00	0.00	0.00	0.00		0.07	0.39	0.79	0.85	0.18	0.00	0.00

Elaborado por: El Autor, 2021

Mes	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Ene	162,62	173,08	163,06	131,12	87,96	40,28	52,39	25,36	31,37	17,71	29,76	16,44	31,03	16,26	70,82	18,01	110,6	22,28	67,86	28,06	54,08	73,39	79,35	65,51	87,96	40,28	52,39	25,36	31,37	17,71	29,76	16,44	31,03	16,26	70,82	18,01	110,6	22,28	67,86	28,06	54,08	73,39	79,35	65,51	87,96	40,28	52,39	25,36	31,37	17,71	29,76	16,44	31,03	16,26	70,82	18,01	110,6	22,28				

Figura N° 12. Caudal disponible mensual del río Chimbo en m³/s (1950-2011).
Fuente: INAMHI (2012)

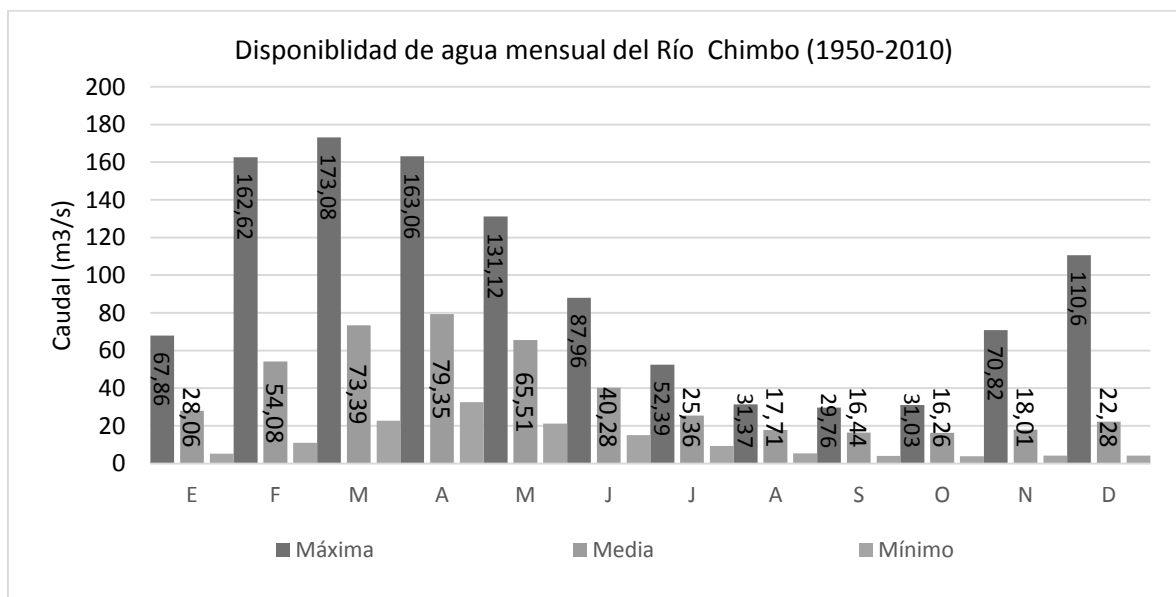
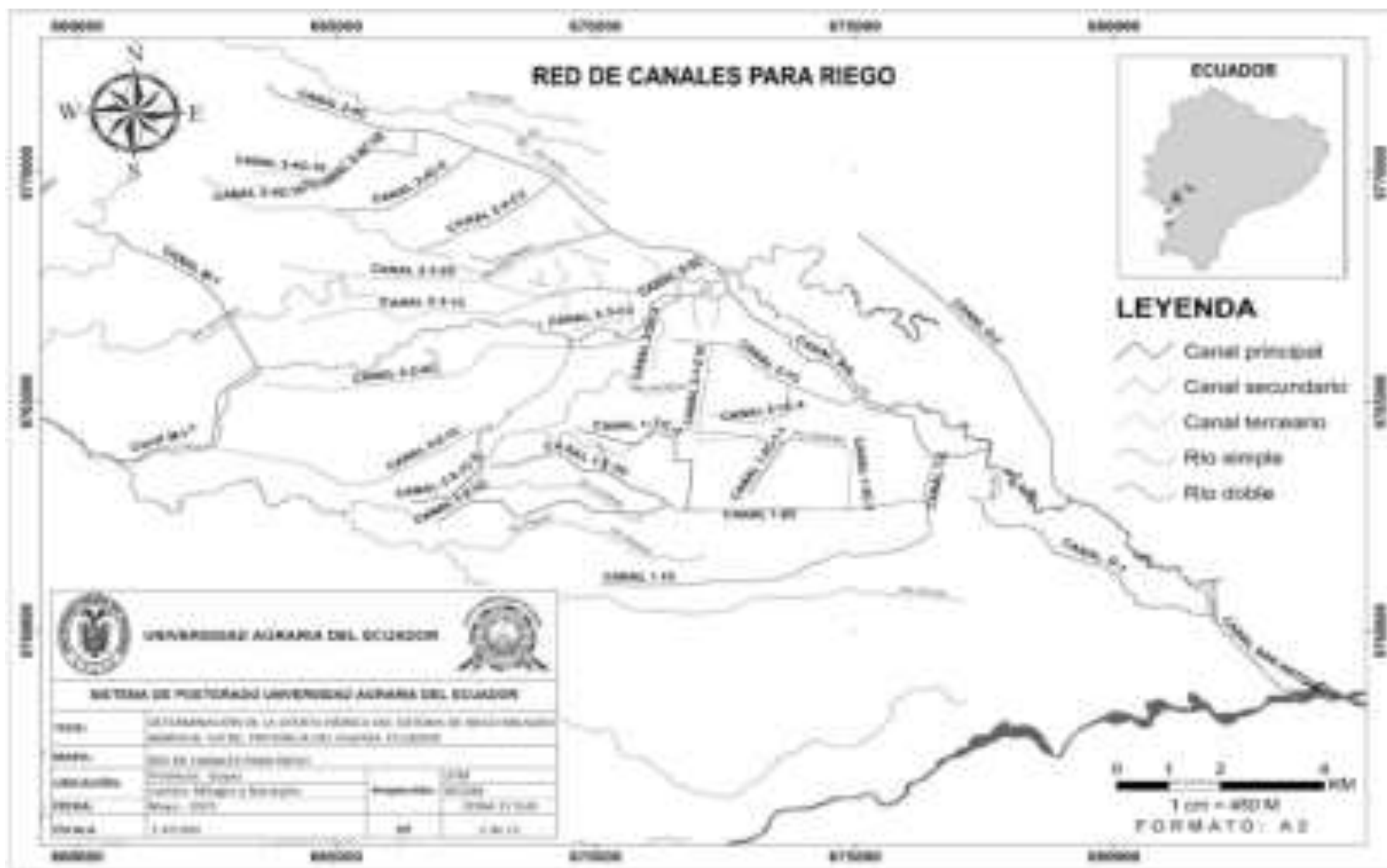


Gráfico N° 20. Disponibilidad de agua por mes en m³/s del río Chimbo (1965-2014).
Fuente: INAMHI (2011)
Elaborado por: El Autor, 2021.















MAPA DE PRECIPITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO



LEYENDA

-  Precipitación (mm/año)
-  Área de estudio



FORMATO: A3





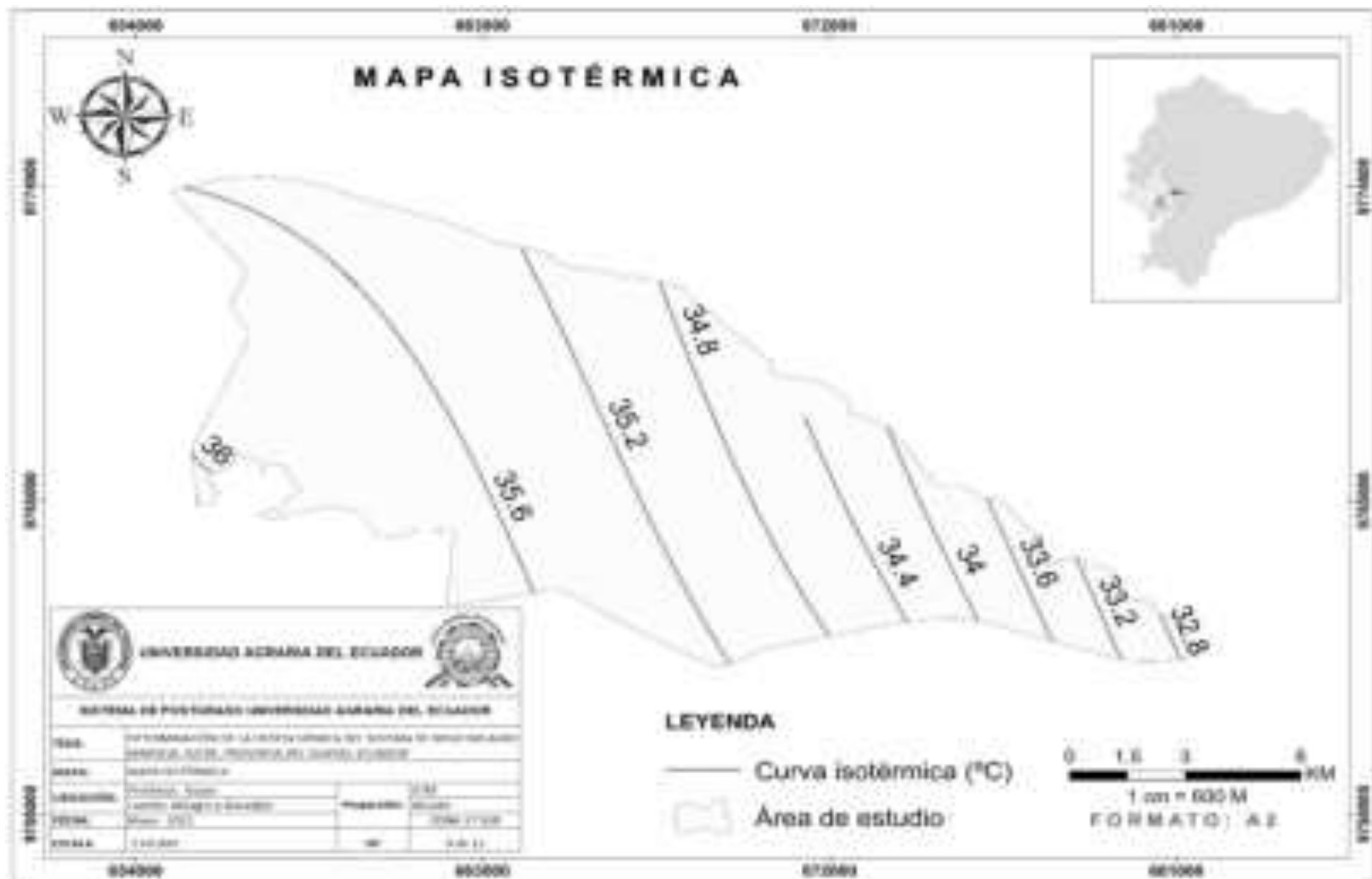

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LOJA
SISTEMA DE POSTGRADO - INGENIERÍA HUMANA DEL ECUADOR

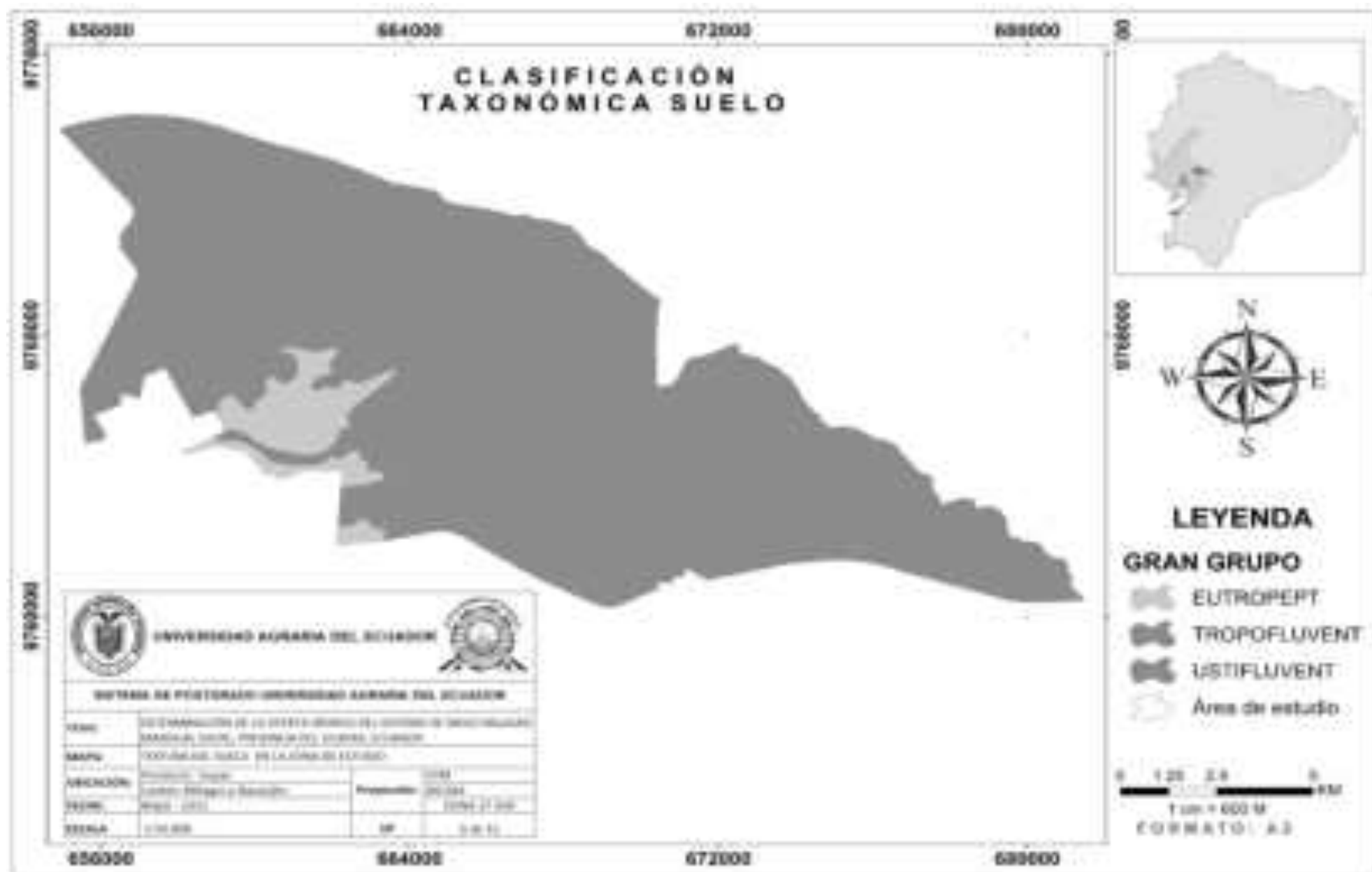
Título: LA COMUNICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO DEL SISTEMA DE POSTGRADO DE INGENIERÍA HUMANA DEL ECUADOR

Nombre: ZONA DE INVESTIGACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Autores:	Coautores:	Director:
Coautores:	Coautores:	Coautores:
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Edición:	Edición:	Edición:







ÍNDICE DE FOTOS



Foto N° 1. Inicio del canal principal C en el río Anapoyo
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 2. Levantamiento de la sección transversal del canal de riego D-1
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 3. Levantamiento de la sección transversal del canal de riego 2-2-1 C
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 4. Aforo del canal de riego 2-2 C
Fuente: El Autor, 2021.



**Foto N° 5. Aforo del canal de riego 2-2C con el director de tesis, Armando Vega PhD.
Fuente: El Autor, 2021.**



**Foto N° 6. Aforo del canal de riego principal 2C
Fuente: El Autor, 2021.**



Foto N° 7. Aforo del canal de riego 2-1 C
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 8. Levantamiento de la sección transversal del canal de riego principal 2 C
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 9. Levantamiento de la sección transversal del canal de riego M-1 y aforo.
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 10. Levantamiento de información y aforo del canal de riego 2-3C
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 11. Levantamiento de detalle de las compuertas en canal de riego 2-4-C 1
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 12. Ubicación las compuertas al final del canal San Antonio e inicio del estero Anapoyo.
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 13. Aforo del canal de riego 2-1C
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 14. Aforo del canal de riego 1-C
Fuente: El Autor, 2021.



Foto N° 15. Georreferenciación las compuertas del sistema de riego ingenio San Carlos
Fuente: El Autor, 2021.



Mariscal Sucre, 12 de abril del 2021

CERTIFICADO

Por medio del presente me dirijo a ustedes Señores del Sistema de Posgrado de la Universidad Agraria del Ecuador (SIPUA/E), expresándole mis saludos de consideraciones y estima. Al mismo tiempo **CERTIFICO**, que revisando los archivos de secretaría del Sistema de Riego y Drenaje Milagro Mariscal Sucre consta que el Ing. Pedro Vicente Gordillo Pallarhco, con C.I. 0918150350, mediante oficio S/N, de fecha 01 de junio de 2017, fue autorizado para realizar el trabajo de investigación de posgrado titulado **"DETERMINACION DE A OFERTA HIDRICA DEL SISTEMA DE RIEGO MILAGRO - MARISCAL SUCRE, PROVINCIA DEL GUAYAS, ECUADOR"**. Quien en el transcurso el proceso de investigación se mostró muy comprometido con el desarrollo y avance del estudio.

Es todo cuanto puedo **CERTIFICAR** en honor a la verdad, se autoriza al Ing. Pedro Vicente Gordillo Pallarhco, con C.I. 0918150350, para que puede hacer uso del presente documento dentro de los trámites legales en la UAE.

Lo Certifico. -


César E. Morán Castro (R)
PRESIDENTE

