



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

**Caracterización de la eficiencia de conducción y de distribución en el
ramal “Chichipata” del Sistema de Riego Tumbaco**

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del Título de
Ingeniero Agrónomo**

AUTOR: Vela Romero Boris Xavier

TUTOR: M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle

Quito, mayo 2019

DERECHOS DE AUTOR

Yo, **Boris Xavier Vela Romero** en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **CARACTERIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN Y DE DISTRIBUCIÓN EN EL RAMAL “CHICHIPATA” DEL SISTEMA DE RIEGO TUMBACO**, modalidad Proyecto de Investigación, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedo a favor de la Universidad Central del Ecuador y al tutor una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

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

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

Boris Xavier Vela Romero

C.C. 0803448224

borisvela8@gmail.com

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo Randon Stalin Ortiz Calle en mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, modalidad Proyecto de Investigación, elaborado por: **VELA ROMERO BORIS XAVIER**; cuyo título es **CARACTERIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN Y DE DISTRIBUCIÓN EN EL RAMAL “CHICHIPATA” DEL SISTEMA DE RIEGO TUMBACO**, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo; considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios en el campo metodológico y epistemológico, para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal examinador que se designe, por lo que **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación determinado por la Universidad Central del Ecuador.

En la ciudad de Quito, a los 29 días del mes de abril de 2019.

Ing. Randon Stalin Ortiz Calle, MSc.

DOCENTE-TUTOR

C.C. 1102697396

**CARACTERIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN Y DE
DISTRIBUCIÓN EN EL RAMAL “CHICHIPATA” DEL SISTEMA DE RIEGO
TUMBACO**

APROBADO POR

Ing. Agr. Randon Ortiz, M.Sc.

TUTOR DE LA INVESTIGACIÓN

Ing. Civil. Jaime Pazmiño, M.Sc.

LECTOR-EVALUADOR

Ing. Agr. Juan Hidalgo, M.Sc.

LECTOR-EVALUADOR

2019

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico a Dios, por darme salud, fuerzas y sabiduría para poder cumplir mis objetivos, a mi madre Marina Romero, por su apoyo incondicional, a mis hermanos Diana y Ronnie por siempre estar conmigo en las buenas y las malas y creer en mí, a Melanie por estar apoyándome y levantándome día a día en momentos adversos, a mi tía Rosa por ayudarme siempre en el momento que más lo necesitaba y finalmente a mis amigos Jorge, Bryan, Marco y Víctor por confiar en mí como un hermano.

BORIS

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme cada segundo de vida y por hacerme sentir bendecido a cada momento.

A toda mi familia especialmente a mi madre Marina, por ser mi guía, mi amiga, mi madre mi apoyo incondicional en todos estos años que tengo.

A la Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícola, a todos los profesores que me formaron académicamente para cumplir mi objetivo, especialmente al Ing. Randon Ortiz por la enseñanza de valores y técnicas para aumentar mis conocimientos.

BORIS

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Generalidades	3
2.2. Historia del riego en Ecuador	3
2.2.1. Institucionalidad y legislación	4
2.3. Derecho al agua	5
2.3.1. Definición de derecho al agua	5
2.3.2. Categorías de derecho al agua	6
2.4. Control del agua.....	6
2.5. Sistema de riego.....	7
2.5.1. Operación y mantenimiento.....	7
2.5.1.1. Operación.....	7
2.5.1.2. Mantenimiento.....	7
2.5.2. Elementos constitutivos de un sistema de riego	8
2.5.3. Unidad de riego.....	8
2.5.4. Canales de riego.....	9
2.5.5. Infraestructura de un sistema de riego	9
2.6. Sistema de riego Tumbaco.....	10
2.6.1. Ramal Chichipata.....	11
2.7. Organización del Sistema de Riego Tumbaco	11
2.7.1. Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Tumbaco.....	11
2.7.2. Derecho y obligaciones de los usuarios	12
2.8. Medición de caudales.....	13
2.8.1. Vertederos de aforo.....	13
2.8.1.1. Tipo de cresta.....	14
2.8.1.2. Tipo de forma	14
2.8.2. Canal de aforo Parshall.....	15
2.9. Eficiencia de distribución y conducción del agua de riego.....	15

CAPÍTULO	PÁGINA
2.9.1. Eficiencia del sistema de riego	16
2.9.2. Eficiencia de conducción	16
2.9.3. Eficiencia de distribución	17
2.9.3.1. Uniformidad de distribución	17
2.9.3.2. Coeficiente de uniformidad de Christiansen.....	17
2.10. Sobre y sub irrigación.....	18
2.10.1. Balance hídrico	18
2.10.2. Precipitación	18
2.10.2.1. Precipitación efectiva.....	18
2.10.2.2. Precipitación probable	19
2.10.3. Evapotranspiración	19
2.10.3.1. Evapotranspiración de referencia.....	19
2.10.3.2. Coeficiente de cultivo	19
2.10.4. Métodos de riego	20
2.10.5. Necesidades hídricas mensuales (NHM)	21
2.10.6. Necesidades hídricas diarias	21
2.11. Agronomía de riego	22
2.11.1. Frecuencia de riego.....	22
2.11.2. Tiempo de aplicación del agua	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS	23
3.1. Ubicación.....	23
3.1.1. Coordenadas geográficas del área de estudio	24
3.1.2. Límite del área de influencia	24
3.2. Características de la zona de estudio	24
3.2.1. Climatología	24
3.3. Materiales	25
3.3.1. Insumos.....	25
3.3.2. Equipos	25
3.3.3. Materiales de oficina.....	25

CAPÍTULO	PÁGINA
3.3.4. Software	26
3.4. Metodología	26
3.4.1. Gabinete	26
3.4.1.1. Recopilación de información	27
3.4.1.2. Localización y reconocimiento del canal secundario	27
3.4.1.2.1. Puntos de monitoreo en el canal secundario	28
3.4.1.3. Localización y reconocimiento del óvalo	32
3.4.1.3.1. Puntos de monitoreo en el óvalo	32
3.4.1.4. Medidores de caudal	34
3.4.1.4.1. Medidor de caudal para el canal secundario	34
3.4.1.4.2. Medidor de caudal para entrada a tomas de usuarios y óvalo	34
3.4.1.5. Planificación y logística	34
3.4.1.5.1. Diseño de registros de datos para eficiencia de conducción	35
3.4.1.5.2. Diseño de registro de datos y entrevistas para eficiencia de distribución	35
3.4.1.5.3. Diseño y registro de datos para sobre y sub irrigación	35
3.4.2. Campo o levantamiento de información	35
3.4.2.1. Medición de caudales en tres secciones del canal secundario	36
3.4.2.2. Medición de caudales en la entrada al óvalo y usuarios	37
3.4.2.3. Cultivos de cada usuario	37
3.4.3. Procesamiento de datos	38
3.4.3.1. Eficiencia de conducción	39
3.4.3.2. Eficiencia de distribución	39
3.4.3.3. Sobre y sub irrigación	42
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1. Levantamiento de información	46
4.1.1. Secciones	47
4.1.2. Óvalo (Unidad terciaria de riego)	49
4.1.2.1. Infraestructura presente en el óvalo 22-A	49
4.1.2.2. Caracterización actual de los usuarios del óvalo 22-A	51

CAPÍTULO	PÁGINA
4.2. Determinación de la eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario	52
4.2.1. Aspectos socio-organizativos en el ramal.....	54
4.3. Determinación de la eficiencia de conducción, distribución y transporte en el óvalo 22-A...	55
4.3.1. Determinación de la eficiencia de conducción en el óvalo 22-A.....	55
4.3.2. Determinación de la eficiencia de distribución en el óvalo 22-A	56
4.3.3. Determinación de la eficiencia de transporte en el óvalo 22-A	58
4.3.4. Aspectos socio-organizativos del óvalo 22-A.....	59
4.4. Análisis de sobre y sub irrigación en el óvalo 22-A	60
5. CONCLUSIONES	64
6. RECOMENDACIONES	65
7. RESUMEN	66
8. REFERENCIAS.....	68
9. ANEXOS.....	75

LISTA DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Tabla 1. Eficiencia de conducción para canales abiertos de acuerdo a la textura y longitud.	17
Tabla 2. Intervalos para determinar si el canal Parshall trabaja a descarga libre o con sumersión.	36
Tabla 3. Valores y categorías para eficiencia de conducción.	39
Tabla 4. Categorías según la eficiencia de distribución.	41
Tabla 5. Información de las secciones del canal secundario	47
Tabla 6. Infraestructuras de entrega de agua a usuarios.	49
Tabla 7. Usuarios del óvalo 22-A.	51
Tabla 8. Eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario.	52
Tabla 9. Cálculo de la eficiencia de conducción en el óvalo 22-A.	55
Tabla 10. Cálculo de la eficiencia de distribución.	56
Tabla 11. Eficiencia de transporte dentro de la unidad de riego.	58
Tabla 12. Tiempos de riego para el mes más crítico.	60
Tabla 13. Tiempo de riego calculado para todos los meses.	62
Tabla 14. Información de la eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario.	77
Tabla 15. Registro de datos para el levantamiento de información de la eficiencia de distribución.	79
Tabla 16. Registro de datos para el levantamiento de información de sobre y sub irrigación.	80
Tabla 17. Base de datos de medición de cargas hidráulicas en el canal secundario.	91
Tabla 18. Coordenadas y alturas de los puntos de monitoreo en el canal secundario.	92
Tabla 19. Caudales calculados en los puntos de monitoreo del canal secundario.	92
Tabla 20. Caudales calculados en la entrada al óvalo 22-A y usuarios.	92
Tabla 21. Datos de la estación climatológica "La Tola", series mensuales desde 1986-2013.	93
Tabla 22. Cultivo, área cultivada y fechas de siembra y cosecha.	93
Tabla 23. Eficiencia de aplicación para cada sistema de riego.	93
Tabla 24. Entrevistados y fechas de entrevista.	94

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Figura 1. Bocatoma a la altura de Alangasí.	10
Figura 2. Desarenador ubicado en el CADET.....	10
Figura 3. Vertedero rectangular de pared delgada sin contracción metálico.	15
Figura 4. Ubicación del ramal "Chichipata"	23
Figura 5. Diagrama metodológico para la caracterización de la eficiencia de conducción y distribución.	26
Figura 6. Flujograma metodológico para la etapa de gabinete.....	27
Figura 7. Ubicación de los puntos de monitoreo (S1P1) (S1P2).....	29
Figura 8. Ubicación de los puntos de monitoreo (S2P1) (S2P2).....	30
Figura 9. Ubicación de los puntos de monitoreo (S3P1) (S3P2).....	31
Figura 10. Ubicación del óvalo 22-A y puntos de monitoreo.	33
Figura 11. Flujograma de la metodología para la fase campo o levantamiento de información.....	35
Figura 12. Flujograma de la metodología de la fase de procesamiento de datos.	38
Figura 13. Ubicación del ramal "Chichipata" y del canal principal.	46
Figura 14. Secciones de medición, canales y predios del ramal "Chichipata".....	48
Figura 15. Estructuras hidráulicas en el óvalo 22-A.	50
Figura 16. Canal secundario sin agua con sedimentos, piedras y malezas.	52
Figura 17. Diferencia entre el caudal inicial y final de cada sección.	53
Figura 18. Distribución de caudal a usuarios del óvalo 22-A.	57
Figura 19. Tiempo de riego calculado vs tiempo de riego asignado por la Junta para el usuario (1). ..	61
Figura 20. Tiempo de riego calculado vs tiempo de riego asignado por la Junta para el usuario (8). ..	61
Figura 21. Uso y cobertura del suelo en el óvalo 22-A.	63
Figura 22. Mapa de tipo de canales.....	75
Figura 23. Mapa de sobre y sub irrigación en el óvalo 22-A.	76
Figura 24. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Fernández Buchelli.	99
Figura 25. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Manotoa Edith.....	99
Figura 26. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Fernández Robert.	100
Figura 27. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Navas Amanda.	100
Figura 28. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Rodríguez Fernando.....	101
Figura 29. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Carranco Luis.....	101
Figura 30. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Flores Vicente.	102

Figura 31. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Flores Josué.....	102
Figura 32. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Rojas Rosana.....	103
Figura 33. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Proaño Martha.....	103

LISTA DE ANEXOS

ANEXO	PÁGINA
Anexo 1. Cartografía.....	75
Anexo 2. Registro de datos para el levantamiento de información.....	77
Anexo 3. Fotografías del procedimiento de estudio en el ramal "Chichipata".	81
Anexo 4. Tablas de medición de caudales	91
Anexo 5. Componentes del balance hídrico.....	93
Anexo 6. Entrevistas.	94
Anexo 7. Caso típico, cálculo de caudales y tiempo de riego.....	95
Anexo 8. Sobre y sub irrigación.....	99

TEMA: Caracterización de la eficiencia de conducción y de distribución en el ramal “Chichipata” del sistema de riego Tumbaco

Autor: Boris Xavier Vela Romero

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

La medición de las eficiencias de conducción y distribución del agua de riego son importantes para mejorar la gestión integral del riego. Se determinó la eficiencia de conducción en el ramal secundario, la eficiencia de conducción, distribución y transporte en el óvalo 22-A, así como sobre o sub irrigación y los aspectos socio-organizativos. Se utilizaron metodologías convencionales en los cálculos. Resultados: la eficiencia de conducción promedio en el ramal fue del 96.40%; las eficiencias de conducción, distribución y transporte en el óvalo fueron 76.67%, 53.05% y 39.61%, respectivamente; el 60% de los usuarios presentaron sub irrigación; los tiempos de riego asignados por la junta de regantes afectaron a la uniformidad de distribución. Conclusiones: la eficiencia de conducción promedio en el ramal fue alta; la eficiencia de distribución en el ovalo fue baja; la falta de actualización del tiempo de riego en función de las necesidades de agua de los cultivos incidió en la eficiencia de distribución.

PALABRAS CLAVES: TUMBACO / EFICIENCIA DE TRANSPORTE / NECESIDADES HÍDRICAS / SOBRE Y SUB IRRIGACIÓN / TIEMPO DE RIEGO

THEME: Characterization of the conveyance and distribution efficiency in the "Chichipata" branch secondary canal of the Tumbaco irrigation system

Author: Boris Xavier Vela Romero

Mentor: Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

The measurement of the conveyance and distribution efficiency of irrigation water are important to improve the integral water management in the system. The following parameters were determined: the conveyance efficiency in the secondary branch canal, the conveyance, distribution and transport efficiency in a tertiary unit, over or sub-irrigation and the socio-organizational aspects as well. Conventional methodologies were used in the calculations. Results: the average conveyance efficiency in the branch canal was 96.40%; the conveyance, distribution and transport efficiencies in the oval were 76.67%, 53.05% and 39.61%, respectively; 60% of the users presented sub irrigation; the irrigation times assigned by the water user association board affected the distribution efficiency. Conclusions: the average conduction efficiency in the branch was high; the distribution efficiency in the oval was poor; the lack of irrigation times computed according to the crop water needs affected the distribution efficiency.

KEYWORDS: TUMBACO / CONVEYANCE EFFICIENCY / CROP WATER REQUIREMENTS / OVER AND SUB IRRIGATION / IRRIGATION TIME

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor de trabajo de graduación cuyo título es: **“CARACTERIZACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN EL RAMAL “CHICHIPATA” DEL SISTEMA DE RIEGO TUMBACO”** presentado por el Sr. VELA ROMERO BORIS XAVIER, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo, certifico haber revisado y corregido el **ABSTRACT** para el trabajo de grado.

Ing. Randon Stalin Ortiz Calle, M.Sc.

DOCENTE – TUTOR

C.C. 1102697396

ABREVIATURAS

CADET:	Centro Académico Docente Experimental “La Tola”
CUC:	Coefficiente de uniformidad de Christiansen
Efa:	Eficiencia de aplicación (%)
Efc:	Eficiencia de conducción (%)
Efd:	Eficiencia de distribución (%)
Eft:	Eficiencia de transporte (%)
ETc:	Evapotranspiración del cultivo (mm d^{-1})
ETo:	Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm d^{-1})
Eo:	Evaporación del tanque clase A (mm d^{-1})
FAO:	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
Ha:	Carga hidráulica
ha:	Hectárea
ICID:	Comisión Internacional del Riego y Drenaje
INAMHI:	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
JGUSIRTUM:	Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Tumbaco
Kc:	Coefficiente de cultivo
Ln:	Lámina neta (mm)
Lt:	Lámina Total (mm)
NHD:	Necesidad Hídrica diaria del cultivo (mm d^{-1})
NHDp:	Necesidad Hídrica Diaria Ponderada (mm d^{-1})
NHM:	Necesidad Hídrica Mensual (mm m^{-1})
mm:	Milímetros
m^3 :	Metro cúbico
P:	Precipitación (mm)
Pe:	Precipitación efectiva (mm)
PSI:	Proyecto Subsectorial de Irrigación
Q:	Caudal (l s^{-1})
Qi:	Caudal inicial sección (l s^{-1})

Qf:	Caudal final sección (l s^{-1})
Qu:	Caudal usuario (l s^{-1})
Qo:	Caudal ingreso al óvalo (l s^{-1})
T:	Tiempo (minutos)
Shp:	Shapefile
USDA:	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
UTM:	Universal Transversa de Mercator
V:	Volumen (m^3)
μ :	Promedio

1. INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático, la deforestación, el incremento en la demografía, el aumento de las zonas pobladas y el monocultivo de exportación son factores que han presionado a los recursos hídricos (Hidalgo, 2010:1). Dentro de este contexto, el agua juega un papel importante, porque es un recurso natural indispensable para las actividades de explotación agropecuaria, recurso que cada vez se encuentra en menor disponibilidad y es necesario administrarlo adecuadamente dentro de un sistema productivo (Medrano *et al.*, 2007:64).

En el Ecuador, 3 136 000 hectáreas representan la superficie potencial regable, considerando la aptitud del suelo y los recursos hídricos accesibles. La superficie que se encuentra bajo riego en el país es de 1 088 228.94 hectáreas, representando el 21.38% de la superficie cultivada, se estima que el 56% de la superficie regada en el país se maneja bajo el método de inundación, sin embargo, frente a la escasez de agua se está optando por métodos de riego y manejos de sistemas de riego más eficientes (ESPAC, 2017:4).

El sistema de riego es fundamental para la aplicación del agua a los cultivos, debido a que permite regular en tiempo y volumen la distribución del agua a los usuarios. Un sistema de riego está diseñado para aprovechar, captar y trasladar el agua desde una fuente natural o represa de suministro a las zonas agropecuarias más cercanas (Tamayo, 2015). Su objetivo es abastecer con agua de riego a los usuarios que conforman el sistema mediante una organización establecida, el agua que se distribuye debe ser aplicada según las necesidades hídricas de los cultivos, área regable de la parcela y climatología de la zona.

Las estructuras más comunes para transportar y distribuir el agua de riego son: bocatoma, desarenador, canales, túneles, tomas de riego, entre otras, estas obras permiten un mejor aprovechamiento del agua (Poirée & Ollier, 1977). A pesar de mantener una infraestructura de riego adecuada, la eficiencia del sistema de riego no depende de un solo elemento, sino que engloba la interacción de varios como: el recurso agua de riego, la infraestructura y red de riego, derecho y reparto, la organización de usuarios o regantes y los sistemas de producción (Sánchez *et al.*, 2003:79).

El Sistema de Riego Tumbaco, fue diseñado, construido y operado en el año 1947 por la Caja Nacional de Riego (CNR), en la actualidad se encuentra administrado por la Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Tumbaco (JGUSIRTUM) y está conformado por siete ramales: Alangasí-La Merced, Ilaló, San Blas, El Pueblo, Churoloma, Chichipata y La Viña (CORSINOR, 2001). El ramal Chichipata cuenta con la mayor cantidad de usuarios (1 300.0) distribuidos en 43 óvalos y la longitud total del ramal es de 11 498.0 m (Cabascango, 2010).

Los órganos que componen la Junta General de Riego Tumbaco son: la Asamblea General, el Directorio de la Junta de Riego, las Directivas de Ramales y Óvalos y la Comisión Electoral. En la parte administrativa y operativa el Directorio de la Junta de Riego trabaja en conjunto con: presidente, vicepresidente, secretario y un tesorero, los cuales poseen tres vocales por posición, la misma estructura se da en cada ramal y óvalo, en la parte técnica el presidente trabaja en conjunto con canaleros en cada área destinada del sistema (JGUSIRTUM, 2018).

Es necesario precisar que el canal de riego Tumbaco fue construido hace más de setenta años y su eficiencia está afectada por el deterioro de la infraestructura, crecimiento de malezas y la poca operación y mantenimiento, es por esto que la Universidad Central del Ecuador mediante la Facultad de Ciencias Agrícolas y sus estudiantes ven la necesidad de caracterizar la eficiencia de conducción y distribución en el ramal Chichipata, mediante la medición de caudales en el canal secundario, terciario y en la entrada a las unidades terciarias y realizando un análisis integral, social y organizacional del sistema de riego para así relacionar las pérdidas que se pueden llegar a tener.

OBJETIVOS

Objetivo general:

- Determinar la eficiencia de conducción y distribución del agua en el ramal “Chichipata” del Sistema de Riego Tumbaco, integrando aspectos socio-organizativos.

Objetivos específicos:

- Determinar la eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario del ramal “Chichipata”.
- Determinar la eficiencia de conducción, distribución y transporte en el óvalo 22-A, integrando la operación y mantenimiento.
- Analizar si existe sobre y sub irrigación en el óvalo 22-A.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades

El riego desde el punto de vista integral y sistémico sirve para potenciar la capacidad productiva de los sistemas productivos de pequeños agricultores, un sistema de riego está conformado por varios factores que interaccionan para definir un mejor potencial productivo, el trabajo mancomunado de los agentes del sistema de riego genera una mejor productividad para los beneficiados, bajo estos argumentos se puede referir a un sistema de riego como la relación entre la organización, normas, leyes y estructuras hidráulicas (Carrazón, 2007:19).

Una buena productividad es el reflejo del éxito para el agricultor, la aplicación eficaz del riego ayuda a incrementar la producción en una finca, para esto es necesario conocer las necesidades hídricas de los cultivos que se pretenden establecer y la dinámica de la operación que se lleva en el manejo de riego, con el objetivo de incrementar la producción con una menor cantidad de agua (Briceño *et al.*, 2012).

El Ecuador se considera un país exportador de varios productos agrícolas, los cuales se manejan con riego para evitar pérdidas de la producción, se estima que el 30% del área cultivada debe ser asistida con riego por falta de lluvias, el 81% de la superficie regada se encuentra bajo riego particular (privado o comunitario) y el 19% se encuentra con sistemas públicos (Calvache, 2015).

Dentro del contexto de sistema de riego, productividad y área de riego, el agua y la organización es el punto central. La distribución de agua de riego va a depender de la operación y mantenimiento que la organización realice en el ramal y del cumplimiento de los derechos y obligaciones del estatuto interno de la Junta.

2.2. Historia del riego en Ecuador

Antes de la llegada de los Incas las poblaciones andinas ya practicaban la agricultura con riego, las poblaciones ancestrales trabajaban en formaciones de tierra elevadas a las que se le atribuía el nombre de “camellones”, entre la separación de camellones se formaban acequias para conducir el agua de una fuente natural a sus parcelas. Con la llegada del Imperio Inca las poblaciones se vieron influenciadas por la construcción de canales de riego y formaciones de terrazas para cultivo. En el Periodo Colonial, los españoles emplearon el término “óvalo” que significa distribuidor de agua, innovando las técnicas de riego en la implementación de haciendas destinadas a la explotación de cultivos (Sánchez *et al.*, 2003:58).

Este proceso duró un período de tiempo determinado dentro del territorio ecuatoriano, en el cual se fueron fusionando series de técnicas y manejos del riego. Hidalgo (2010:8), define como “*hibridaciones en*

la forma de manejar los recursos hídricos”. Dando como resultado en la actualidad varias formas de visión en el manejo legal del recurso.

2.2.1. Institucionalidad y legislación

Para solventar los conflictos entre poblaciones indígenas y latifundistas¹ originados en la época Republicana, se creó la Primera Ley de Aguas en 1832, la misma que regulaba la distribución del agua y acequias, originando más conflictos que soluciones. Después de 104 años en 1936, se procedió a reformar la Ley anterior enfocándose más en el acceso y uso del agua (Iza *et al.*, 2012). Lo cual no generaba más que el origen de un modelo económico que se concentraba en la propiedad de la tierra y el agua.

En el año 1944, se da origen a la Caja Nacional de Riego, creada para contribuir en la institucionalidad del riego y con el objetivo de construir y manejar los sistemas de riego en todo el Ecuador (Iza *et al.*, 2012). Hidalgo (2010:8), indica que esta institución era autónoma y estaba sujeta a la Ley de Riego y Saneamiento del Suelo expedida en 1944.

En 1960, se codificaron algunas normas legales de trascendencia nacional como: El Código Civil, Ley de Condominios de Aguas, Ley de Riego y Saneamiento del Suelo y la Ley de la Caja Nacional de Riego (Iza *et al.*, 2012). En el mismo año se promulgó la nueva Ley de Aguas, y se produce la confiscación del derecho de dominio que ostentan las particulares sobre el agua hasta ese tiempo, y se acredita el dominio de las mismas a favor del Estado (GWP-SAMTAC, 2003).

En 1967, la Caja Nacional de Riego es remplazada por el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI), institución que tenía como objetivo la entrega de concesiones y la administración de los derechos al agua, adicionalmente se encargaría de la planificación, construcción, administración, operación y mantenimiento de los sistemas de riego estatales y la realización de normas legales y control sobre el manejo del riego (Iza *et al.*, 2012).

En 1994, el INERHI es dividido en dos entidades: i) Consejo Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) ii) Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología (INAMHI) (Hidalgo, 2010:10). La misión principal del CNRH es regular el sector agua en todo el país, también se encargar de regular el subsector riego debido a que en esos tiempos no existía otra entidad de control (GWP-SAMTAC, 2003:7).

A partir del año 2008, el CNRH es reemplazado por la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), la cual tiene como función la gestión y manejo del agua de una forma integral de manera que persista a lo largo

¹ Latifundista o hacendados, personas que poseen grandes extensiones de tierra, llamadas “latifundio”. (Sánchez *et al.*, 2003:61)

del tiempo para nuevas generaciones. Una función importante que realiza la SENAGUA es el manejo y otorgamiento de concesiones de uso y aprovechamiento del agua (Hidalgo, 2010:10).

En el año 2014, entró en vigencia la Ley de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, en la que se destaca la prohibición de toda clase de privatización, por la trascendencia que el agua tiene para la vida, producción de alimentos y ambiente. La gestión del agua debe ser pública o comunitaria; sin embargo, el artículo 7, indica que, excepcionalmente podrá participar la iniciativa privada cuando existan declaratorias de emergencias adoptada por la autoridad competente y cuando esta misma no tenga las condiciones técnicas y financieras para administrarla, dejando la puerta abierta a la empresa privada en el manejo del agua.

2.3. Derecho al agua

Los derechos de agua son parte fundamental para el funcionamiento de un sistema de riego, a pesar de que son importantes para la distribución equitativa, los usuarios o regantes tienen poco conocimiento de ello, también existe poca o nula discusión sobre los derechos del agua, cómo se establecen, cómo se desarrollan y su definición puesta en la práctica diaria de la gestión del sistema de riego (Gerbrandy & Hoogendam, 1998).

2.3.1. Definición de derecho al agua

Según Gerbrandy & Hoogendam (1998:84), los derechos del agua en zonas Andinas se caracterizan por ser diversos en todas sus dimensiones y lo definen desde un enfoque fuera de lo legal como: *“Expresiones de relaciones sociales, que definen quiénes pueden y quiénes no pueden utilizar el agua”*. Los derechos al agua son un conjunto de derechos en los que prima el uso directo al agua, uso de la infraestructura y a la participación en la toma de decisiones sobre la gestión, la incorporación de usuarios y el enajenamiento de derechos a terceros.

Beccar *et al.* (2001:21), define los derechos del agua como *“La exigencia autorizada sobre el uso de (una parte de) un flujo de agua, que incluye ciertos privilegios, restricciones, obligaciones y sanciones que acompañan esta autorización entre lo que resalta la facultad de participar en la toma de decisiones colectiva sobre la gestión y el destino del sistema”*. Es necesario precisar que los derechos de agua no se mantienen estáticos en el tiempo, y al contrario son profundamente dinámicos y diversos, por lo cual tienden a cambiar según su contexto histórico, cultural y socio – político (Hidalgo, 2010; Gerbrandy & Hoogendam, 1998).

2.3.2. Categorías de derecho al agua

Boelens & Hoogendam (2002), definen las categorías de la siguiente manera:

- a. **Derecho de referencia:** es aquel que se fundamenta de las bases legales y definen las características y facultades de los titulares de los derechos, incorpora conceptos e ideologías de la justicia y la equidad.
- b. **Derechos activados:** es el proceso por el cual se pasa los derechos de referencia hacia normas de funcionamiento y a la asignación y distribución del agua, algunos de los logros son: horarios, participación en la toma de decisiones y funcionamiento.
- c. **Derechos materializados:** relaciona a los derechos activados en el campo de trabajo, lo cual se expresa en el uso del agua, la distribución y los acuerdos entre los usuarios cuando el sistema se encuentra en funcionamiento.

2.4. Control del agua

Según Hidalgo (2010:20), *“el control del agua comprende el uso tecnológico, normas y reglas, organización, utilización de relaciones políticas, sociales y económicas que intervengan en el acceso de los derechos al agua”*, en otras palabras, es el conjunto de herramientas que permiten instruir, normar y controlar el uso de un recurso de forma ordenada y equitativa. Boelens (2008), en este contexto propone cinco dominios que mediante su interacción permiten tener un control sobre el derecho al agua:

- a) **Socio legal:** conforma al control del agua como legítimo derecho al agua y sus obligaciones, normativas, normas y reglas, este dominio no se basa solamente en leyes estatales, sino que intervienen reglas y normas internas de los sistemas de riego.
- b) **Bio físico:** comprende toda estructura, tecnología y habilidades técnicas que permiten captar agua desde una fuente natural o principal hasta la parcela del usuario.
- c) **Organización:** constituye la planificación, mantenimiento, operación, utilización de recursos y la toma de decisiones importantes dentro del sistema.
- d) **Político económico:** es importante destacar que muchas veces estas relaciones son las que deciden el acceso al agua; en muchas ocasiones sus decisiones perjudican a agricultores más vulnerables.
- e) **Cultural metafísico:** comprende la interacción de las reglas, normas, derecho y obligaciones entre las creencias religiosas, culturales, nacionalidades y valores.

2.5. Sistema de riego

Le Goulven *et al.* (1991:45), definen al sistema de riego como “*producto social, históricamente constituido*”. Un sistema de riego se conforma por un conjunto de elementos, partiendo de los físicos como cauces naturales de agua, infraestructura desde la captación a la parcela, hasta las normas y reglamentos que regulan la distribución, operación y mantenimiento, y la parte administrativa del sistema (Noordholland *et al.*, 1999).

El sistema de riego tiene como objeto suministrar agua a los agricultores, y está compuesto por agentes humanos, infraestructura física, infraestructura social, infraestructura institucional y los diferentes procesos bio-físicos que interactúan de forma compleja (Cifdaloz *et al.*, 2010).

2.5.1. Operación y mantenimiento

2.5.1.1. Operación

Se define como el proceso de manejo y servicio que presta un operador al control de estructuras hidráulicas, herramientas de control y medición, apertura de compuerta de riego a usuarios en el tiempo asignado y registro de inconvenientes en el funcionamiento del sistema; en otras palabras, la operación engloba todos los métodos que proporcionen una buena conducción y distribución del agua desde la captación hasta la parcela del usuario, además incluye el manejo de criterios para realizar una buena planificación de riego tomando en cuenta los cultivos y las condiciones climatológicas de la zona (Snellen, 1997).

2.5.1.2. Mantenimiento

Snellen (1997), lo define como el conjunto de actividades, operaciones y cuidados que se requieren para hacer cumplir la vida útil de las estructuras hidráulicas y herramientas, previniendo el deterioro por efecto de oxidación, derrumbes, falta de una estructura, daño de herramientas y sedimentos en el canal; existen tres categorías para el mantenimiento de un sistema de riego:

- a) **Mantenimiento de rutina:** actividades que se realizan durante toda la vida útil de un sistema de riego, algunas de estas actividades son: engrasado de las compuestas, limpieza de malezas en los márgenes del canal y la limpieza de sedimentos de la solera de canales y drenajes.
- b) **Trabajos urgentes:** los trabajos urgentes requieren un accionar inmediato, se lo realiza en conjunto con los agricultores o usuarios para controlar problemas como: rebose del caudal por acción de lluvias o taponamientos, daños en las bombas y desastres naturales.

- c) **Mejoramiento del sistema:** se refiere a la reconstrucción según las necesidades y la vida útil que tiene el sistema de riego, se incluyen mejoras en: construcción de canales de concreto, válvulas, bombas, vertederos de aforo, etc.

2.5.2. Elementos constitutivos de un sistema de riego

Apollin & Eberhart (1998:11), indican que un sistema de riego está conformado por varios componentes que mediante sus cualidades e interacciones proporcionan una mejor gestión en el sistema, el objetivo de estos elementos es fomentar las estrategias y dinámicas dentro del manejo, operación y funcionamiento de la repartición del agua y se clasifican de la siguiente manera:

- a. **Normativas y derecho al agua:** son las normas y reglamentos determinados y aprobados por la organización y sus componentes que permiten un mejor trabajo de repartición de forma equitativa y justa para cada usuario; los derechos y deberes que tiene el usuario son de vital importancia para ser beneficiados puedan contribuir con mejoras.
- b. **Geografía de la red de riego:** permite conocer de una forma espacial las distintas zonas de nuestro ramal de riego y los diferentes problemas que se llegan a tener, por ejemplo: relaciones socio-territoriales, distribución del agua, infraestructura, etc.
- c. **Sistemas de producción y estrategias familiares:** es la lógica que define el funcionamiento que poseen las distintas unidades de producción campesinas, que se ven influenciadas por distintos factores y uno de estos es el acceso al agua en los cuales la familia debe tomar decisiones importantes para mantener su productividad dentro de su finca.
- d. **Organización de usuarios:** se basa en la influencia que tienen las normas, reglamentos, maneras de funcionamiento dentro del sistema, reglas para operadores del sistema y también la función y rotación de cargos entre usuarios.

2.5.3. Unidad de riego

La unidad de riego o bloque hidráulico comprende una unidad espacial de suministro entre diferentes usuarios, abastecida por canales secundarios o terciarios. Dentro del mismo sistema de riego, las normativas y reglas de reparto de agua pueden ser diferentes entre una unidad de riego a otra. En sistemas de riego históricamente formados se refleja la conformación de grupos sociales específicos, como: familias o linaje, grupos o identidad específica, vecinos, etc., en general, las unidades de riego comprenden espacios socio-territoriales (Apollin & Eberhart, 1998).

2.5.4. Canales de riego

Arango (2002), indica que los canales de riego son infraestructuras de conducción que se utilizan en sistemas de riego para el transporte del agua desde una captación hasta la parcela del agricultor. En sistemas de riego, los canales pueden implementarse entre la captación y el tanque desarenador, y luego entre el desarenador y el tanque de almacenamiento, se pueden establecer según el caso mediante tuberías, encofrados y canales abiertos y se clasifican como canal principal, secundario y terciario.

Canal principal: Es el canal que domina la zona de riego y provee al sistema de canales laterales. Traslada el agua de las fuentes de captación a las tomas de derivación posteriores, se ubica a lo largo de las curvas de nivel abarcando la mayor superficie posible y suministra el agua por efecto de la gravedad a todos los puntos posibles de la zona de riego (Arango, 2002).

Canal secundario: Los canales secundarios cumplen la función de transportar el agua a un área de riego secundaria, se encuentra ubicado en zonas más bajas que el canal principal. Desde los canales secundarios el agua es distribuida hacia los canales terciarios o a las parcelas mediante la regulación de compuertas (ICID-CIID, 2002).

Canal terciario: Mediante los canales terciarios, el agua ingresa a la parcela del agricultor o a un reservorio donde se almacenará para su posterior uso, en este canal, el agua puede ingresar directamente al campo cultivado para ser distribuida a las distintas parcelas (ICID-CIID, 2002).

2.5.5. Infraestructura de un sistema de riego

Las principales infraestructuras que se encuentran en sistema de riego son las que se especifican a continuación:

Acometida: estructura por la cual se deriva agua de riego desde un lateral de riego hasta la entrada del canal de distribución del usuario.

Acueductos: son estructuras diseñadas para que el canal siga su trayecto por una quebrada profunda, pueden ser construidos con concreto armado o tubos colgados con cables de acero (Núñez *et al.*, 2015).

Bocatoma: es una estructura que se utiliza para desviar el agua de una fuente (río, estero o lago) para ser captada con la ayuda de muros hacia el canal de conducción (Figura 2), las partes que la conforman son: el barraje (ventanas), ventana de captación, compuerta metálica, canal colector (Nuñez et al., 2015).

Desarenador: cumple la función de sedimentar partículas de arena y tierra que son desplazadas a lo largo del canal e impedir su ingreso a las tuberías de presión; las partes que lo conforman son: tanque de sedimentación, compuerta y desagüe (Briceño *et al.*, 2008) (Figura 2).



Figura 1. Bocatoma a la altura de Alangasí.



Figura 2. Desarenador ubicado en el CADET.

2.6. Sistema de riego Tumbaco

En la época republicana del Ecuador existieron muchos conflictos relacionados con la captación y el aprovechamiento del agua, el acceso al agua se encontraba obstaculizado por factores físicos, sociales y económicos. En el año 1832 se creó la primera Ley de Aguas, la misma que regulaba la distribución, en el año 1936 se reforma la Ley de Aguas enfocándose más al acceso y uso del agua, en 1944 la participación por parte del estado se incrementa y comienza la construcción de sistemas de riego y obras hidráulicas, y se crea la Caja Nacional de Riego (CNR) (Iza *et al.*, 2012). Para 1947, la CNR diseña, construye y opera el

Sistema de Riego Tumbaco y en el año 2001 se transfiere la responsabilidad a la “Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Tumbaco” (CORSINOR, 2001).

El Sistema de Riego Tumbaco está conformado por siete ramales (Alangasí – La Merced, Ilaló, San Blas, El Pueblo, Churoloma, Chichipata y La Viña), es abastecido por los ríos Pita y Guangel, de los que se deriva el agua mediante bocatomas y se conduce por un canal principal hacia cada canal secundario de los ramales, se estima 45 km de infraestructura y 3 000.0 beneficiados.

2.6.1. Ramal Chichipata

El Ramal Chichipata en sus inicios fue construido mediante mingas comunitarias y mediante el apoyo de la Caja Nacional de Riego, en el año 1947 se confirma su construcción a lo largo de los sectores: Tola Chica, Tola Grande, El Arenal, La Esperanza, Las Acacias y San José de Collaquí. El canal secundario tiene una longitud aproximada de 11 km y se encuentra constituido por 43 óvalos que distribuyen agua a 1300 usuarios aproximadamente (Cabascango, 2010).

La infraestructura del canal secundario se encuentra en un mayor porcentaje con bases de tierra y un menor porcentaje embaulada y con bases de cemento, aproximadamente un 10% de los canales terciarios se encuentran revestidos y el 90% presenta canales no revestidos.

2.7. Organización del Sistema de Riego Tumbaco

2.7.1. Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Tumbaco

CORSINOR (2001), indica que la Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Tumbaco (JGUSIRTUM), es el establecimiento responsable del manejo, funcionamiento y organización del Sistema de Riego Tumbaco, es el órgano máximo del sistema y sus representantes serán escogidos por democracia.

Según el Estatuto y Reglamento de Operación y Mantenimiento de la Junta de Riego Tumbaco, son órganos de la Junta de Riego Tumbaco: Asamblea General, el Directorio de la JRT, Directivas de Ramales y Óvalos, Comisión Electoral o de elecciones y las comisiones que se crearan para el buen funcionamiento de la Junta (JGUSIRTUM, 2018).

El mismo autor indica que el Directorio de la Junta de Riego Tumbaco es el organismo encargado de la dirección ejecutiva y la administración de la Junta, los miembros que conforman el Directorio son: el presidente, vicepresidente, secretario y tesorero, elegidos en Asamblea general para el periodo de dos años y siete vocales, los cuales son los presidentes de cada ramal.

2.7.2. Derecho y obligaciones de los usuarios

El artículo 11 del Estatuto y Reglamento de Operación y Mantenimiento indica que son derechos de los usuarios:

- a. Participar con voz y voto en la Asamblea del Ramal y en los respectivos Óvalos, convocados de acuerdo al presente Estatuto y Reglamento interno.
- b. Elegir y ser elegido para los cargos directivos de la Junta, Ramales u óvalos.
- c. Acceder, previa solicitud a la información contable y actas que mantiene la JRT.
- d. Recibir el servicio de riego en la calidad, caudales y horarios establecidos por la JRT.
- e. Presentar sugerencias, así como quejas o reclamos debidamente fundamentados con las pruebas y documentación que los sustenten sobre cualquier anomalía que le resulte perjudicial.
- f. Denunciar abusos o incorrecciones cometidas por otros usuarios, personal, directivos o por terceras personas.
- g. Apelar ante el Directorio y, de ser el caso ante la Asamblea General, a fin de que se revisen las sanciones impuestas.
- h. Solicitar por escrito la convocatoria a Asamblea General Extraordinaria, explicando el motivo y con la firma del 10% del padrón de usuarios.

Según el artículo 12 del Estatuto y Reglamento de Operación y Mantenimiento indica que son obligaciones de los usuarios:

- a. Pertenecer a las Juntas del óvalo, ramal que le corresponda y a la Junta General del Sistema.
- b. Pagar oportunamente la tarifa volumétrica, cuotas, multas y obligaciones económicas fijadas por el Directorio de la Junta General.
- c. Es obligación de todo usuario construir y mantener en óptimas condiciones los accesos o tomas de agua de riego y evitar desperdicios que afecten a otros.
- d. Respetar el derecho de vía de los canales con un ancho mínimo de un metro a cada lado para facilitar el trabajo de operación y mantenimiento.
- e. Participar obligatoriamente en los trabajos colectivos que se organicen para obras de mejoramiento y limpieza del canal principal, secundario y al cual pertenece.
- f. Acatar y cumplir las sanciones que le fueran impuestas por morosidad o por contravenir a cualquiera de sus obligaciones.
- g. Informar al Directorio de la Junta del Óvalo, Ramal o General, sobre el traspaso o división de su propiedad, para la actualización del padrón.

- h. Asistir obligatoriamente a las Asambleas Ordinarias y Extraordinarias del Directorio del Óvalo, Ramal y de la Junta General con voz y voto. Se pueden acreditar un representante siempre que sea usuario.
- i. Estar presente, por si o por representante autorizado, en la toma correspondiente para recibir turno de agua en el día y hora fijados.

2.8. Medición de caudales

El caudal es la cantidad de agua que fluye en un río, estero o canal por unidad de tiempo, se expresa en (l s^{-1}) o ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$) y se determina mediante procesos basados en la geometría de una sección y en la velocidad media del flujo (Briceño *et al.*, 2012).

El mismo autor citado anteriormente indica que conocer el caudal de agua que pasa por un canal es importante para un sistema de riego, porque nos permite:

- Conocer la disponibilidad de agua.
- Organizar la distribución de agua a cada usuario.
- Determinar el volumen de agua para los cultivos.
- Calcular la eficiencia de uso de agua de riego.

Hudson (1997), afirma que existen diversas formas de calcular la cantidad de agua que pasa por un río o canal y es el único componente del balance hídrico que se puede medir con una acertada precisión, los métodos más comunes son:

- Volumétrico
- Vertederos de aforo
- Método área – velocidad
- Canal de aforo Parshall
- Disolución con trazadores
- Limnímetros

2.8.1. Vertederos de aforo

Balloffet *et al.* (1952), define al vertedero como una abertura de contorno libre, practicada en la pared de un depósito o también en una barrera colocada en un canal o río, y por la cual se traspasa el líquido contenido en el depósito o que circula por el canal. Los vertederos son estructuras hidráulicas que sirven para incrementar el nivel del agua, la mayor parte de los vertederos están diseñados para una descarga

libre, la cual se ubica sobre la sección crítica con el fin de que el caudal sea proporcional a la profundidad de la corriente en el vertedero (Hudson, 1997).

Los vertederos son muy útiles para el aforo de caudales, por lo general se los usa para mediciones en caudales relativamente pequeños y se clasifican por tipo de cresta y forma (Rocha, 2007).

2.8.1.1. Tipo de cresta

Según Rocha (2007), la cresta es la parte del vertedero que hace que el líquido rebose, por tipo de cresta se distinguen dos tipos de vertederos: en pared delgada y en pared gruesa.

- **Pared delgada:** en los vertederos de pared delgada el contacto entre el agua y la cresta es solo una línea, para considerar un vertedero de pared delgada no es necesario que esta sea tan delgada, la relación es $2H/3$ (Figura 3).
- **Pared gruesa:** en los vertederos de pared gruesa el contacto es un plano y el flujo se adhiere a la cresta.

2.8.1.2. Tipo de forma

Sotelo (2002), indica que por su forma hay diferentes tipos: rectangulares, triangulares, trapeciales, circulares, parabólicos, etc., los más comunes son:

- **Vertedero rectangular:** es uno de los más sencillos de construir y es uno de los más utilizados, pueden presentar o no contracciones, para este tipo de vertedero la ecuación es de tipo $x=b/2$ (Figura 3).
- **Vertedero trapezoidal:** posee el trazado de un trapecio regular con taludes a los lados, el gasto para un vertedero trapezoidal se calcula suponiendo una suma del gasto correspondiente a un vertedero rectangular con longitud de cresta (b) y el triangular formado por las dos orillas.
- **Vertedero en V:** este vertedero permite realizar medidas más precisas de alturas de carga hidráulica correspondiente a caudales pequeños.



Figura 3. Vertedero rectangular de pared delgada sin contracción metálico.

2.8.2. Canal de aforo Parshall

El medidor Parshall es utilizado para el aforo de agua en canales abiertos, su diseño se basa en el principio de conservación de la energía, en esta herramienta la energía de posición es convertida en energía de velocidad (Blair, 1965). Puede ser diseñada para quedarse estable en un lugar definido o trasladarse y permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal (Pedroza, 2001).

El medidor Parshall consta de cuatro partes fundamentales:

- Transición de entrada
- Sección convergente
- Garganta
- Sección divergente

El aforador se encuentra compuesto por una entrada una sección convergente, una garganta con inclinación descendente y una sección divergente, la sección convergente y la garganta crean un flujo crítico, siempre y cuando no se haya producido un salto hidráulico (Brière, 2005).

2.9. Eficiencia de distribución y conducción del agua de riego

Se considera eficiencia de conducción y de distribución a la evaluación de las pérdidas de agua en un sistema de riego, el objeto de conocer estas eficiencias es mejorar los trabajos en la estructura del canal, así como mejorar el servicio mediante una óptima operación y disminuir los costos respectivos. El concepto de eficiencia de conducción generalmente se aplica al canal principal y de derivación mientras que la

eficiencia de distribución se realiza en la primera entrega a los canales laterales y en la entrada de cada usuario (PSI, 2004).

2.9.1. Eficiencia del sistema de riego

La eficiencia de riego involucra al manejo organizacional desde la captación y programación del riego para cada usuario hasta la producción resultante, para calcular la eficiencia de un sistema de riego se toma en cuenta la infraestructura y red de riego, derecho y reparto, la organización de regantes y los sistemas de producción (Maldonado, 2001).

Para Núñez (2015:7), la eficiencia de un sistema de riego es la relación entre la cantidad de agua usada por las plantas y la cantidad de agua captada. La cantidad de agua se capta desde una fuente natural y se conduce por medio de un canal principal luego pasa por un canal de derivación secundario para culminar en la parcela agrícola.

2.9.2. Eficiencia de conducción

La eficiencia de conducción (Efc) permite evaluar la cantidad de agua perdida en el canal principal, desde la bocatoma hasta el último punto del canal principal (Núñez, 2015:9). Depende básicamente del caudal, rugosidad, pendiente, tipo de sección y de la permeabilidad del material con la que está construido el canal (Maldonado, 2001:39). Para una mejor eficiencia el canal secundario debe presentar las siguientes condiciones: ser revestido con hormigón, que no exista rupturas en las bases y taludes, pérdidas por usuarios ilegales², que se deriven caudales mínimos recomendados técnicamente.

La Efc está relacionada entre la cantidad de agua que ingresa a un determinado canal, sección o tramo y la cantidad a la salida del canal, sección o tramo. Es aplicada para la evaluación de la operación y el mantenimiento de canales principales, secundarios o terciarios y mientras mayor sea el valor calculado indica un mejor manejo de operación y mantenimiento de la infraestructura (PSI, 2004:13).

El ex INERHI, Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos, realizó investigaciones en las cuales determinó que las pérdidas por conducción en canales abiertos son: 15% en suelos arenosos, 10% en suelos francos y 5% en suelos arcillosos y la eficiencia promedio para canales construidos con estos materiales mantiene un intervalo entre 75 a 80% (Cadena, 2014).

La eficiencia de conducción en esta investigación se considera tomando en cuenta las diferencias de caudal en distintas secciones del canal, los canales de riego se dividen en tipos (abierto, entubado, embaulado y

² Usuarios ilegales: personas que no están vinculadas a la Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Tumbaco, por lo tanto, no tienen derecho alguno para beneficiarse del agua de riego que pase por los canales.

revestido) los mismo que influyen de forma diferente en la eficiencia, también se analiza las causas socio-organizativas como la operación y mantenimiento del canal.

Tabla 1. Eficiencia de conducción para canales abiertos de acuerdo a la textura y longitud.

Categoría	Longitud de canal (m)	Arena (%)	Franco (%)	Arcilla (%)	Revestido (%)
Largo	> 2000	60	70	80	95
Mediano	200 a 2000	70	75	85	95
Corto	< 200	80	85	90	95

Fuente: Brouwer *et al.*, (1989)

2.9.3. Eficiencia de distribución

La eficiencia de distribución (Efd) se obtiene en toda la red de canales, en la que se incluyen los cauces que sirven para distribuir el agua desde el canal principal hasta las parcelas agrícolas, chacras y predios de los usuarios (PSI, 2004:16). Mide la pérdida que se produce entre la captación lateral del canal principal, hasta la entrega a los usuarios, las principales pérdidas se producen por filtraciones en la toma y estructuras de retención y en la programación y organización de los turnos, así como en la repartición del agua (Núñez, 2015:10).

La eficiencia de distribución en el óvalo 22-A se considera mediante los caudales que toman los usuarios en la entrada a sus predios, el tiempo de riego y área regable, también analizando la operación que se realiza al momento de repartir los turnos y tiempos riegos.

2.9.3.1. Uniformidad de distribución

La uniformidad de distribución es el resultado de una evaluación de riego en campo y mide la distribución del agua en la parcela del usuario (SAR, 2001). Este parámetro influye en la eficiencia de distribución y está relacionado con el grado de uniformidad en la aplicación del agua sobre el área irrigada. El método de riego aplicado en la parcela va a influir en la distribución del agua en el área regada, el objetivo es encontrar las zonas en las que no se está distribuyendo uniformemente el agua (Maldonado, 2001:47).

2.9.3.2. Coeficiente de uniformidad de Christiansen

El coeficiente de uniformidad de Christiansen es un término que se utiliza para cuantificar la uniformidad de aplicación del agua de riego, se determina con relación a la media de las desviaciones absolutas por el producto de la media de los caudales y por el número de puntos observados (ICID-CIID, 2002). Este científico citado anteriormente, mediante trabajos realizados, evaluó el grado de uniformidad de la aplicación de agua de riego, a través de la división del cuarto inferior para el promedio general, siendo aceptable un valor mínimo del 80% (Maldonado, 2001).

2.10. Sobre y sub irrigación

La existencia de sobre y sub irrigación se considera mediante el análisis de los tiempos de riego calculados con los tiempos de riego asignados por la Junta, determinando las necesidades hídricas que tienen los cultivos y el área regable. Todo el cálculo anterior está en función a los caudales que recibe cada usuario.

2.10.1. Balance hídrico

El balance hídrico es el análisis entre las entradas y las salidas de agua que ocurren en una superficie de suelo tridimensional para poder determinar el exceso o déficit de agua, las entradas de agua se dan por medio de precipitaciones, riego y escorrentía superficial, mientras que las salidas son por acción de la evaporación, transpiración de plantas, percolación profunda y escorrentía (Hart, 1979:104).

Se fundamenta en la ley de conservación de la masa, en relación con aquello se establece que cualquier cambio en el contenido de agua en un determinado volumen de suelo durante un período de tiempo debe ser igual a la diferencia entre la cantidad de agua añadida al suelo y la cantidad de agua extraída (Zhang *et al.*, 2002:6).

2.10.2. Precipitación

La precipitación es un componente del ciclo hidrológico que genera las corrientes superficiales y subterráneas, también se define como la caída del agua en forma líquida o sólida a la superficie terrestre, la caída de este hidrometeoro depende de factores como la temperatura y la presión atmosférica, una vez las condiciones sean favorables solo se requiere la condensación del vapor atmosférico para precipitar (Ordoñez, 2011:9).

El agua precipitada en la superficie del suelo se distribuye de la siguiente manera: una parte es interceptada por la superficie foliar de las plantas, otra se infiltra y se incorpora a las plantas a través de las raíces, una cantidad percola debajo de las raíces y otra parte se escurre por la superficie (Echeverría *et al.*, 2007:271). En la mayoría de los casos, la precipitación representa el mayor aporte hídrico en los suelos destinados a la agricultura (Claro, 1991).

2.10.2.1. Precipitación efectiva

Se denomina precipitación efectiva (P_e) a la cantidad de agua que se almacena en el suelo y es aprovechada por la planta, para que exista un mejor aprovechamiento se analizan las características que tiene el terreno como las propiedades físicas y químicas del suelo, cobertura, pendiente y de las características de la lluvia: intensidad, duración y frecuencia (Cleves *et al.*, 2016:152).

Según Claro (1991), los principales factores que influyen en la precipitación efectiva son la topografía del área de riego, las pendientes pronunciadas, la capacidad que tiene el suelo para retener agua, la textura del suelo, la cantidad de materia orgánica y la cobertura del suelo.

2.10.2.2. Precipitación probable

Se define como la posibilidad de que una precipitación con cierto grado de probabilidad ocurra dentro de un período determinado de tiempo, para su estimación se necesita de una serie histórica de datos; se considera que la precipitación promedio tiene un 50% de probabilidad de ocurrencia (un año si, un año no) y una probabilidad de ocurrencia del 75%, significa que de cuatro años, en tres años se producirán valores mayores al estimado y en un año valores menores al probable (Ortiz, 2011).

2.10.3. Evapotranspiración

Se define como evapotranspiración a la cantidad de agua perdida en forma de vapor bajo las condiciones climáticas dadas en un período de tiempo determinado en una superficie de suelo cubierto totalmente de vegetación y muy bien regado, en otras palabras, es la cantidad de agua perdida por la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas se expresa en milímetros por tiempo (Tullot, 2000:152).

La evaporación y transpiración suceden simultáneamente y no se pueden diferenciar, la evaporación de los suelos cultivados se determina mediante la incidencia de la radiación solar que llega a la superficie del suelo, la radiación que alcanza al suelo decrece mientras el índice foliar es mayor, es decir que, en las primeras fases del cultivo van a existir pérdidas por evaporación y en fases mayores por transpiración (Allen *et al.*, 2006:1).

2.10.3.1. Evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia se define como la pérdida de agua desde una superficie de cultivo de pastos bien regado y fertilizado, causado por efecto del clima (Allen *et al.*, 2006:7). Es el proceso de cálculo de las necesidades hídricas de un cultivo de referencia, la referencia es una parcela de gramíneas, de 8 a 15 cm de alto, de cobertura total y crecimiento vigoroso y sin limitaciones de agua, sin embargo, existen distintos métodos para calcularla según la información climática de la posición geográfica que se requiera estudiar y un ajuste a métodos anteriormente usados (Valverde, 2007:62).

2.10.3.2. Coeficiente de cultivo

Valverde (2007:69), indica que el coeficiente de cultivo o (K_c), es un valor dependiente del conjunto de cualidades anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta, varía según la fase en la que se encuentre el cultivo y de las condiciones climáticas.

El Kc del cultivo se presenta en cuatro etapas de crecimiento diferentes: inicial, desarrollo, mediados y final; el cultivo de referencia es el pasto y es diferente para cada cultivo (Allen *et al.*, 2006:103).

Spano *et al.* (2009), indica que el Kc es una variable que permite estimar la evapotranspiración del cultivo para un período determinado, sin embargo, existen factores que afectan al cálculo del coeficiente:

- Diferencias en la morfología de la planta
- Fisiología vegetal, efecto sobre el número y distribución de las estomas
- El sistema de riego, frecuencia de riego
- Precipitaciones
- Intercepción de rocío o neblina

2.10.4. Métodos de riego

Los métodos de riego comprenden las diferentes formas de aplicar el agua al suelo, han venido evolucionando con el tiempo, desde civilizaciones primeras que se basaban en la observación de las crecidas de los ríos, hasta llegar a los riegos tecnificados y automatizados que aprovechan los avances de la ciencia. El uso de un método de riego va a depender de: topografía del terreno, características físicas del suelo, tipo de cultivo, disponibilidad y calidad de agua, coste de instalación y daño al medio (Fernández *et al.*, 2010:15).

El mismo autor indica que en la actualidad son tres los métodos más representativos para aplicar el agua al suelo: a) riego por superficie, b) riego por aspersión y c) riego localizado.

- Riego por superficie:** es el método más antiguo que se ha empleado, consiste en la aplicación directa del agua a la superficie del suelo por efecto de la gravedad o escurrimiento, una de las cualidades más representativas es que el suelo ejerce la función de distribuir el agua en el perfil del suelo, siendo aprovechada por las raíces. El agua puede llegar hasta el usuario por medio de acequias, tuberías o red de canales, se distribuye dentro de la parcela por medio de surcos y camellones, es recomendable aplicarlo en terrenos con pendientes suaves y es el método de riego menos costoso, los problemas más comunes son erosión del suelo y desperdicio del agua. Según la FAO, la eficiencia de aplicación varía entre 40 y 65%.
- Riego por aspersión:** este método aplica agua al suelo en forma de lluvia, utiliza unos dispositivos de emisión llamados aspersores, los cuales proporcionan un chorro de agua pulverizada, el agua llega hasta los aspersores por una red de tuberías que con la presión adecuada impulsa el agua y por consiguiente la aspersión en el terreno, una de las cualidades más importantes es dotar de

presión a la entrada de la parcela, lo cual se puede hacer con un sistema de bombeo apropiado. Los aspersores se colocan de una forma estratégica generando que se moje de la forma más homogénea posible el cultivo, los materiales por lo general están enterrados y fijos en el suelo y se adaptan a topografías ligeramente accidentadas, los costos son altos y se debe mantener un manejo técnico adecuado. Según la FAO, la eficiencia de aplicación varía entre 75 y 80%.

- c. **Riego localizado:** el riego localizado aplica agua a una determinada zona del suelo, lo cual difiere con los dos métodos anteriormente expuestos, el agua circula a presión por una red de tuberías y fluye por los emisores con muy poca presión a través de orificios, este sistema debe estar dotado de filtros, tratamiento de aguas y de un sistema de bombeo para evitar que se taponen los emisores. Se puede aplicar fertirrigación, lavado, apertura y cerrado de válvulas de manera automatizada, este método es el más tecnificado y el más eficiente los costos iniciales son altos, pero a la larga la mano de obra es menor. Según la FAO, la eficiencia de aplicación varía entre 90 y 95%.

2.10.5. Necesidades hídricas mensuales (NHM)

Se define como la necesidad hídrica calculada para cubrir las demandas de agua para un mes específico, se la expresa en milímetros de lámina de agua que se necesita en cada mes (mm mes^{-1}), las variables que se necesitan para su determinación son: precipitación efectiva mensual, evapotranspiración del cultivo mensual y el aporte de las precipitaciones anteriores; se asume que si NHM es mayor a cero existe exceso de humedad y si es menor, existe un déficit de humedad (Ortiz, 2011).

2.10.6. Necesidades hídricas diarias

Heibloem (1986), define a la necesidad hídrica diaria (NHD) como la profundidad o cantidad de agua necesaria para satisfacer la pérdida de agua por evapotranspiración. También se la conoce como el consumo hídrico diario de las especies vegetales. Es la sumatoria de la cantidad de agua que utiliza la planta para llevar a cabo todas sus funciones fisiológicas, es decir, la cantidad de agua requerida para que el cultivo cumpla su desarrollo sin problemas de estrés hídrico (Valverde, 2007).

Los factores más importantes para determinar la necesidad hídrica que presenta un cultivo son la evapotranspiración del cultivo (ET_c) y la cantidad de agua disponible o precipitación efectiva (Pe). El cálculo de la ET_c se realiza mediante la multiplicación del K_c con la ET_o (Martínez, 2004:177).

2.11. Agronomía de riego

2.11.1. Frecuencia de riego

La frecuencia de riego se define como el número de aplicaciones de riego en la parcela, es una variable que depende de la lámina neta (L_n) y el uso consuntivo máximo al día y se define en función del suelo y del cultivo (Leitón, 1985:101).

La frecuencia de riego depende del balance que se tiene entre la oferta y la demanda de agua, es decir, de la capacidad que tiene el suelo para retener agua y el requerimiento de agua por la planta (Cadena, 2014). Sin embargo, también está relacionada con el acceso real de los usuarios al agua, y este acceso va a estar condicionado comúnmente por relaciones sociales y de poder, presente entre usuarios (Hidalgo, 2010:24).

Los factores que determinan la frecuencia de riego son:

- La capacidad del suelo para almacenar agua: la frecuencia de riego varía según la textura del suelo, el agua se pierde por escorrentía y percolación profunda, las arcillas tienden a retener mayor tiempo la humedad mientras que las arenas tienen a retener menor tiempo (Badillo & Valdera, 2009).
- Las condiciones climáticas: la demanda de agua por las plantas depende generalmente de las precipitaciones, temperatura, radiación solar, humedad relativa, etc. El incremento o decremento de estos factores podría generar una frecuencia mayor o menor de riego, por ejemplo, el incremento de las frecuencias de inundaciones y sequías generarán un impacto negativo en la producción (Rodríguez, 2009).
- La capacidad del sistema de riego y su eficiencia: se debe tomar en cuenta la magnitud del cultivo y las diferentes eficiencias que tienen los métodos de riego más utilizados (Badillo & Valdera, 2009).

2.11.2. Tiempo de aplicación del agua

Se define como tiempo de aplicación, al tiempo necesario para suministrar o asistir con riego a un determinado cultivo, depende del método de riego y del caudal que se esté proporcionando en la parcela (Pereira, 2010). El tiempo de aplicación del agua es en general el mismo tiempo del turno de riego que cada usuario registra y será manejado por la organización entre agricultores o usuarios de riego (Guzmán *et al.*, 2002:112).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación

El ramal Chichipata es uno de los siete ramales que conforman el Sistema de Riego Tumbaco, se encuentra localizado en la provincia de Pichincha, en el cantón Quito, parroquia Tumbaco; está ubicado paralelamente entre los ríos Chiche y San Pedro, y comprende los sectores de La Tola, El Arenal, La Esperanza, Las Acacias y San José de Collaquí, está situado a una altitud entre 2350 y 2450 msnm (Figura 4).

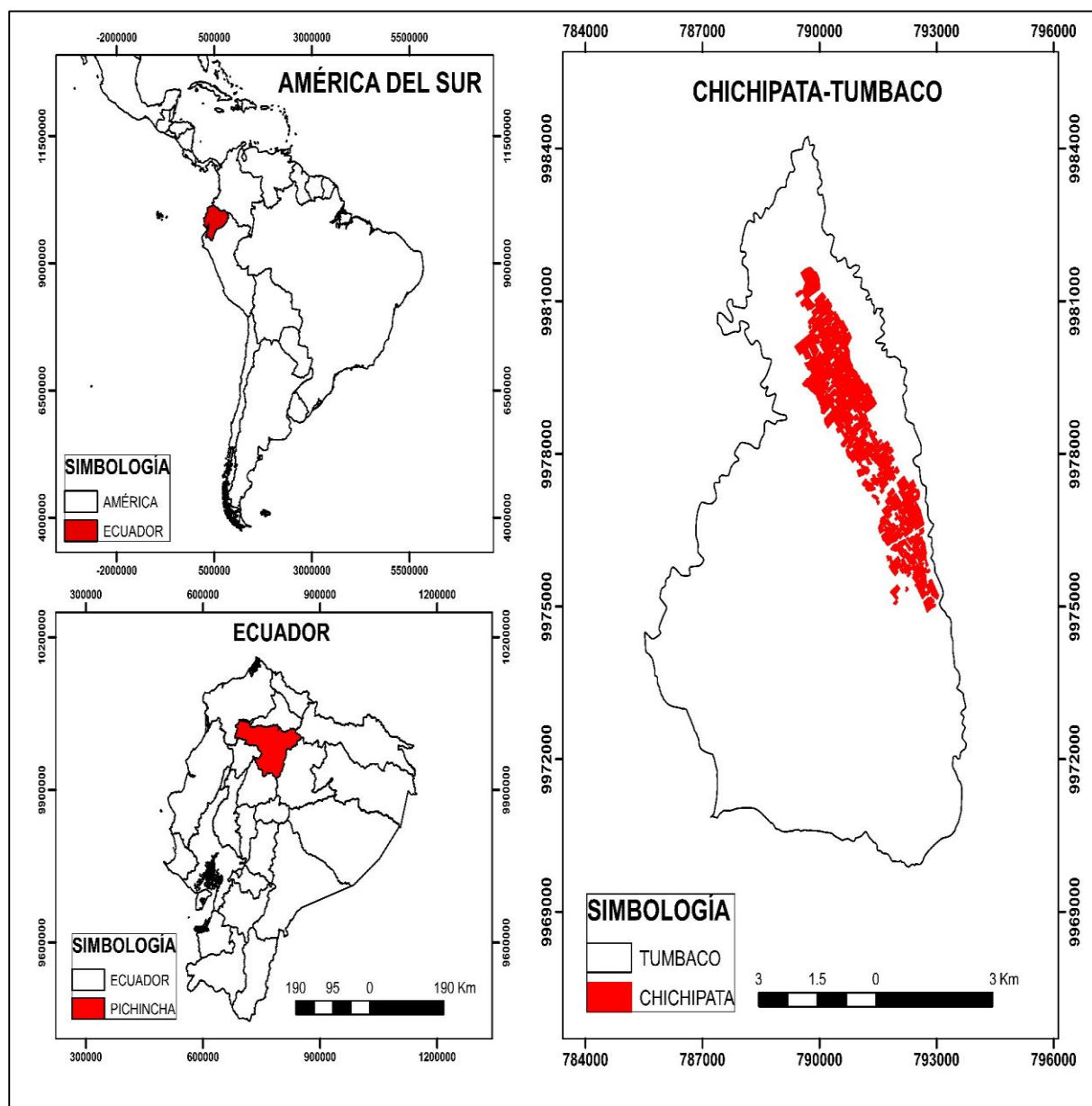


Figura 4. Ubicación del ramal "Chichipata"

3.1.1. Coordenadas geográficas del área de estudio

Punto Norte:	0°09'54" W	80°53'46" S
Punto Sur:	0°13'36" W	80°51'42" S
Punto Este:	0°11'26" W	80°52'58" S
Punto Oeste:	0°11'36" W	80°53'38" S

3.1.2. Límite del área de influencia

Norte: Sector Mecañaza y Cuencas del Río Chiche y Machangara

Sur: (CADET) Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador, Ramal Churoloma y Ramal El Pueblo

Este: Ramal La Viña y Cuenca del Río Chiche

Oeste: Ramal Churoloma

3.2. Características de la zona de estudio

Según Cabascango (2010), la zona que comprende el Ramal Chichipata presenta las siguientes características ambientales:

- **Clima:** Seco Templado
- **Altura mínima:** 2350 m.s.n.m.
- **Altura máxima:** 2450 m.s.n.m.
- **Fuente de agua:** Río Pita y Río Guangal

El Ramal Chichipata está conformado por 43 óvalos, los cuales abastecen de agua a aproximadamente 1300 usuarios, el ramal inicia a la altura de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador y sigue su curso por los sectores de La Tola, El Arenal, La Esperanza, Las Acacias y San José de Collaquí.

3.2.1. Climatología

El área de estudio presenta dos épocas seca y lluviosa, con un clima cálido y templado, la temperatura promedio anual es de 16.4 °C y las precipitaciones bordean los 853.7 mm al año, el mes más caluroso es marzo y el más frío julio, los meses con menos precipitaciones son junio, julio y agosto y el mes más lluvioso es abril, la temperatura varía en 0.7 °C en todo el año, la humedad relativa promedio está en 74.6% y la evaporación mensual es de 134.0 mm.

3.3. Materiales

Los materiales que se utilizaron para la elaboración de este estudio fueron: insumos, equipos, herramientas de trabajo, medidores de caudal, material de oficina y software.

3.3.1. Insumos

- Cartografía básica de Tumbaco actualizada en formato shapefile (Shp)
- Cartografía digital del canal primario y secundario del Sistema de Riego Tumbaco (Shp)
- Cartografía analógica de los predios y zonas de influencia de los ramales
- Padrón de usuarios registrados en la JGUSIRTUM
- Turnos de riego de usuarios registrados en la JGUSIRTUM

3.3.2. Equipos

- Medidor Parshall
- Vertedero rectangular
- GPS³ Garmin
- Cronómetro
- Grabadora
- Cámara fotográfica y de video de 20 megapíxeles
- Calculadora
- Ordenador e impresora

3.3.3. Materiales de oficina

- Libreta (100 hojas)
- Cuaderno universitario (100 hojas)
- Fichas técnicas de recolección de datos
- Estilete
- Lápices
- Esferos
- Resma de papel A4
- Tablero plástico

³ GPS: Sistema de Posicionamiento Global, permite determinar la posición de un objeto en la Tierra (Pérez *et al.*, 2011:15).

3.3.4. Software

- ArcGIS⁴ 10.5
- Microsoft Office 2016

3.4. Metodología

El desarrollo de la investigación se ejecutó en 3 etapas metodológicas que se especifican a continuación:

- I. Gabinete: planificación y recopilación de información
- II. Campo, levantamiento de información
- III. Análisis y proceso de datos



Figura 5. Diagrama metodológico para la caracterización de la eficiencia de conducción y distribución.

3.4.1. Gabinete

La siguiente etapa comprende la obtención de información secundaria relevante, planificación, logística y capacitación en el manejo y uso de las herramientas para medición de caudales, se realizó pruebas de campo en las cuales se utilizó el medidor Parshall para aforar el canal secundario y el vertedero rectangular para canales terciarios, también se elaboró preguntas específicas con relación a la organización para entrevistar a usuarios, presidentes de óvalos, presidente de la junta y canaleros.

⁴ ArcGIS: Conjunto de software y herramientas informáticas en el campo de los sistemas de información geográfica, es un producto comercializado por la empresa ESRI (Pérez *et al.*, 2011:159) .

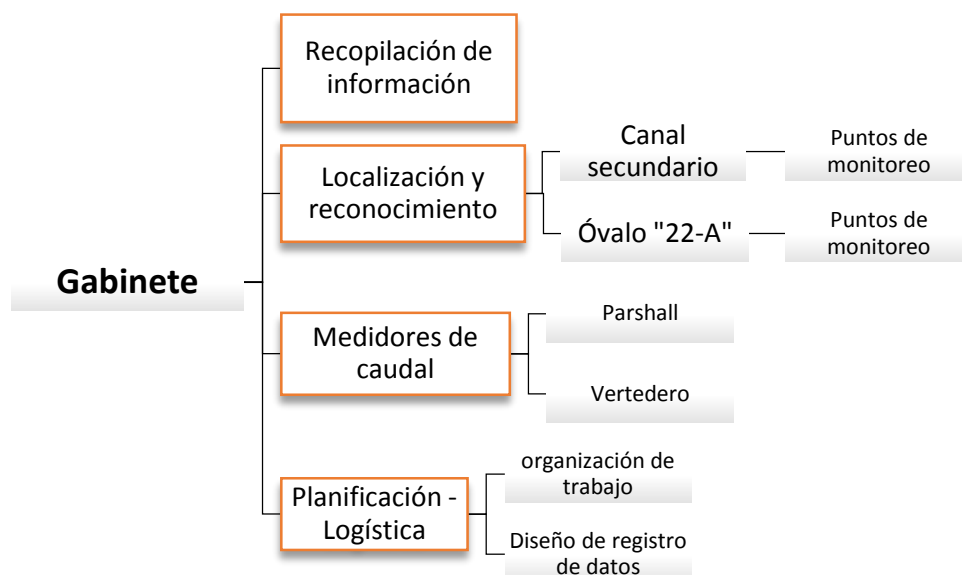


Figura 6. Flujograma metodológico para la etapa de gabinete.

3.4.1.1. Recopilación de información

En la siguiente etapa se reunió información secundaria relevante del área de estudio, especialmente del último levantamiento catastral realizado, se obtuvo información del padrón de usuarios actualizado con sus respectivos turnos de riego proporcionados por la secretaria de la JGUSIRTUM, también se recopiló información temática y geográfica actualizada del ramal “Chichipata” en formato shapefile.

3.4.1.2. Localización y reconocimiento del canal secundario

Con la información del catastro actualizado y mediante el software ArcGIS se procedió a añadir las capas temáticas, las mismas que contienen información de todos los ramales que conforman el Sistema de Riego Tumbaco, luego se realizó un corte del ramal “Chichipata” y por medio de una selección por atributos se exportó solo el canal secundario del ramal, en el cual pudimos constatar en la tabla de atributos datos de longitud total y tipo de canal: revestido, embaulado, entubado o libre, con la ayuda de una orto fotografía y con las herramientas del software se pudo localizar el canal secundario con sus respectivas coordenadas geográficas y UTM.

Para el reconocimiento se efectuó un recorrido que comprendió el trayecto de inicio a final del canal secundario del ramal “Chichipata”, desde la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador hasta el sector de San José de Collaquí y se observó los diferentes sectores a los cuales suministra agua el ramal, las calles y avenidas que lo ubican.

3.4.1.2.1. Puntos de monitoreo en el canal secundario

La selección de puntos de monitoreo se realizó con la información del canal secundario y su tabla de atributos exportados anteriormente en el programa ArcGIS, se procedió a observar los diferentes tipos de canal y con ayuda de una orto fotografía al año actual se ubicó los posibles accesos, para una identificación más exacta se recurrió a la ayuda del señor canalero encargado de la zona, donde se explicó que estos puntos de monitoreo que representarían las secciones debían estar en la parte inicial, media y final, en un lugar donde el canal sea libre y no haya distribución de agua a óvalos y la longitud de punto y punto para cada tramo se manejaría entre el intervalo de 50 y 100 m (Figuras 7-9).

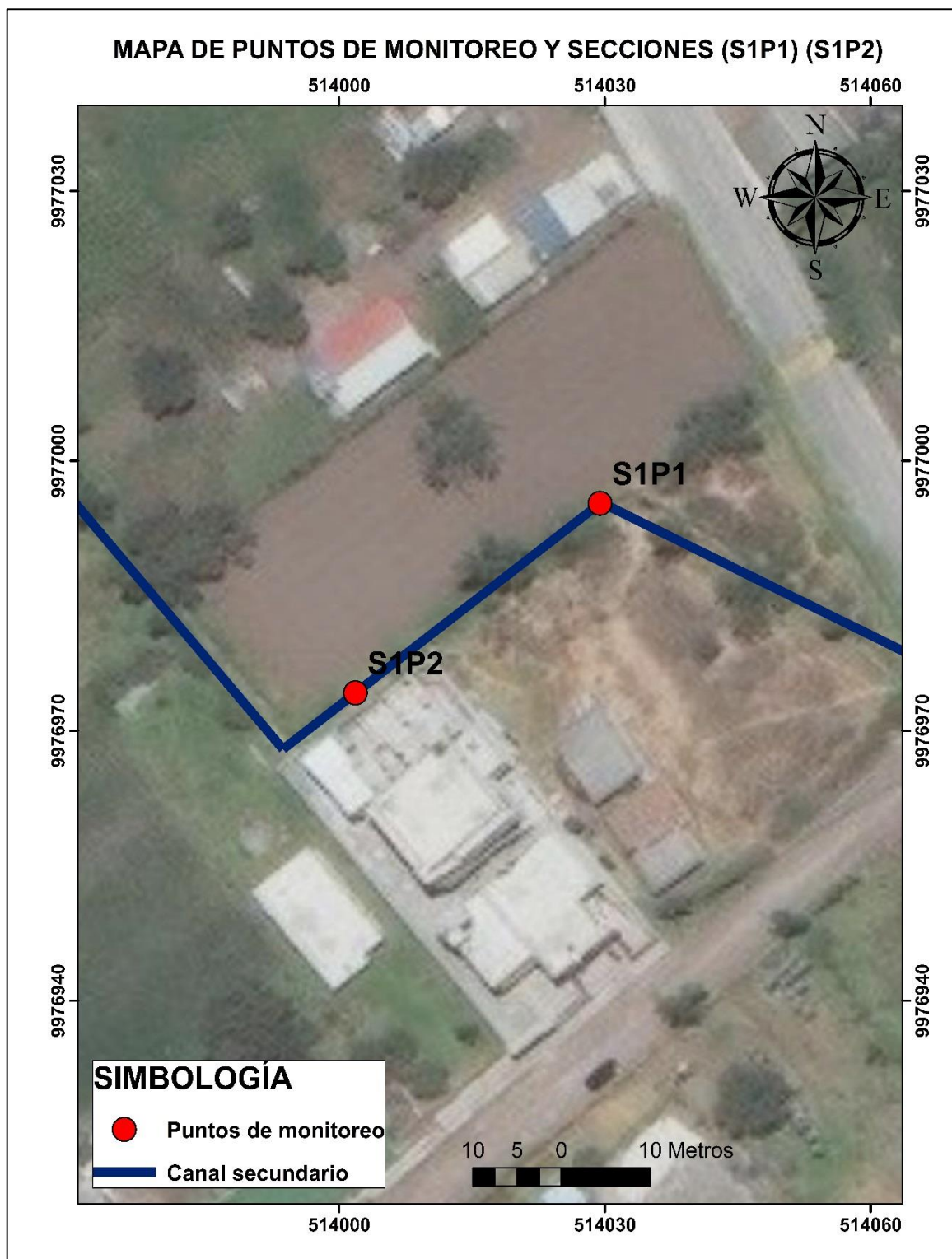


Figura 7. Ubicación de los puntos de monitoreo (S1P1) (S1P2).

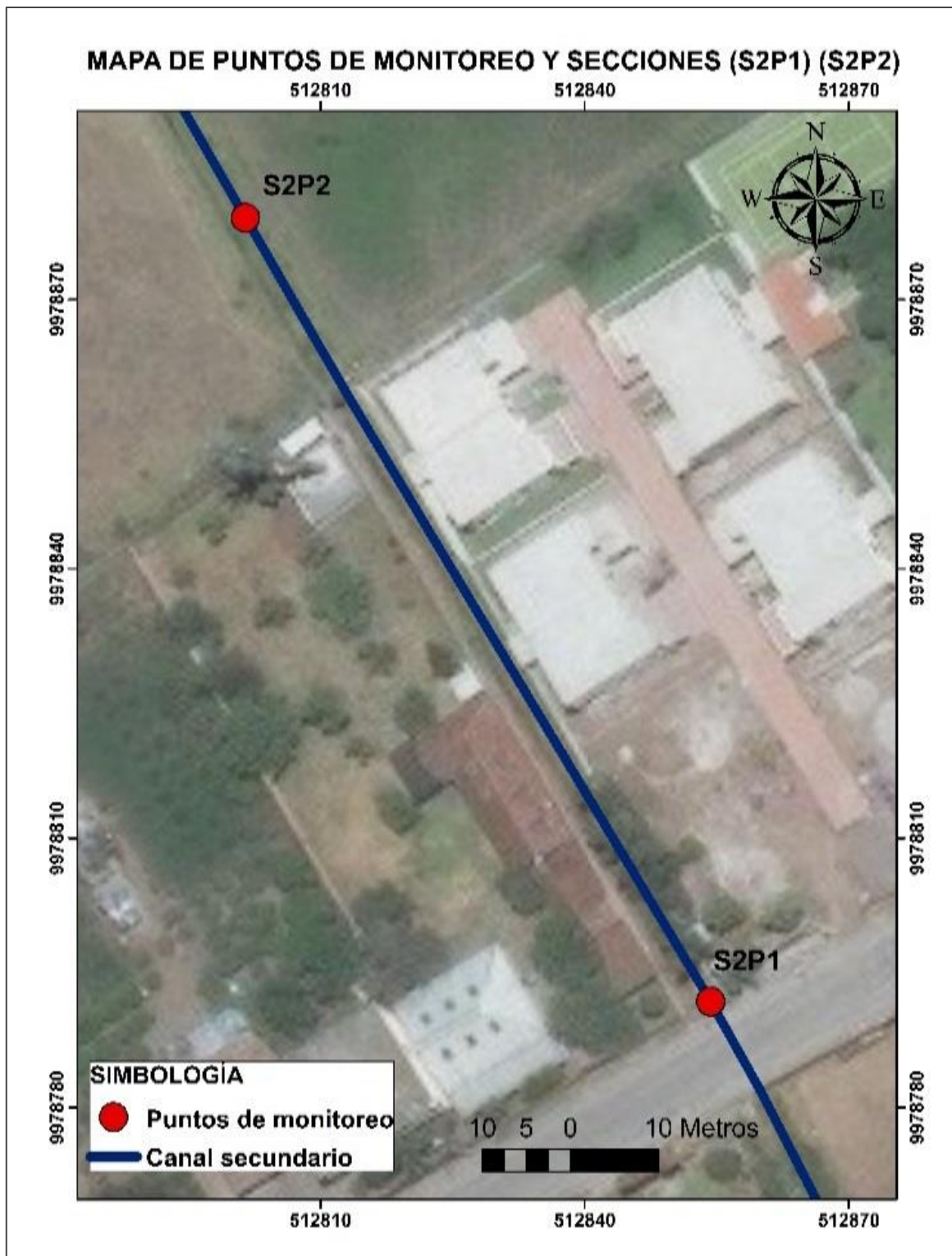


Figura 8. Ubicación de los puntos de monitoreo (S2P1) (S2P2).

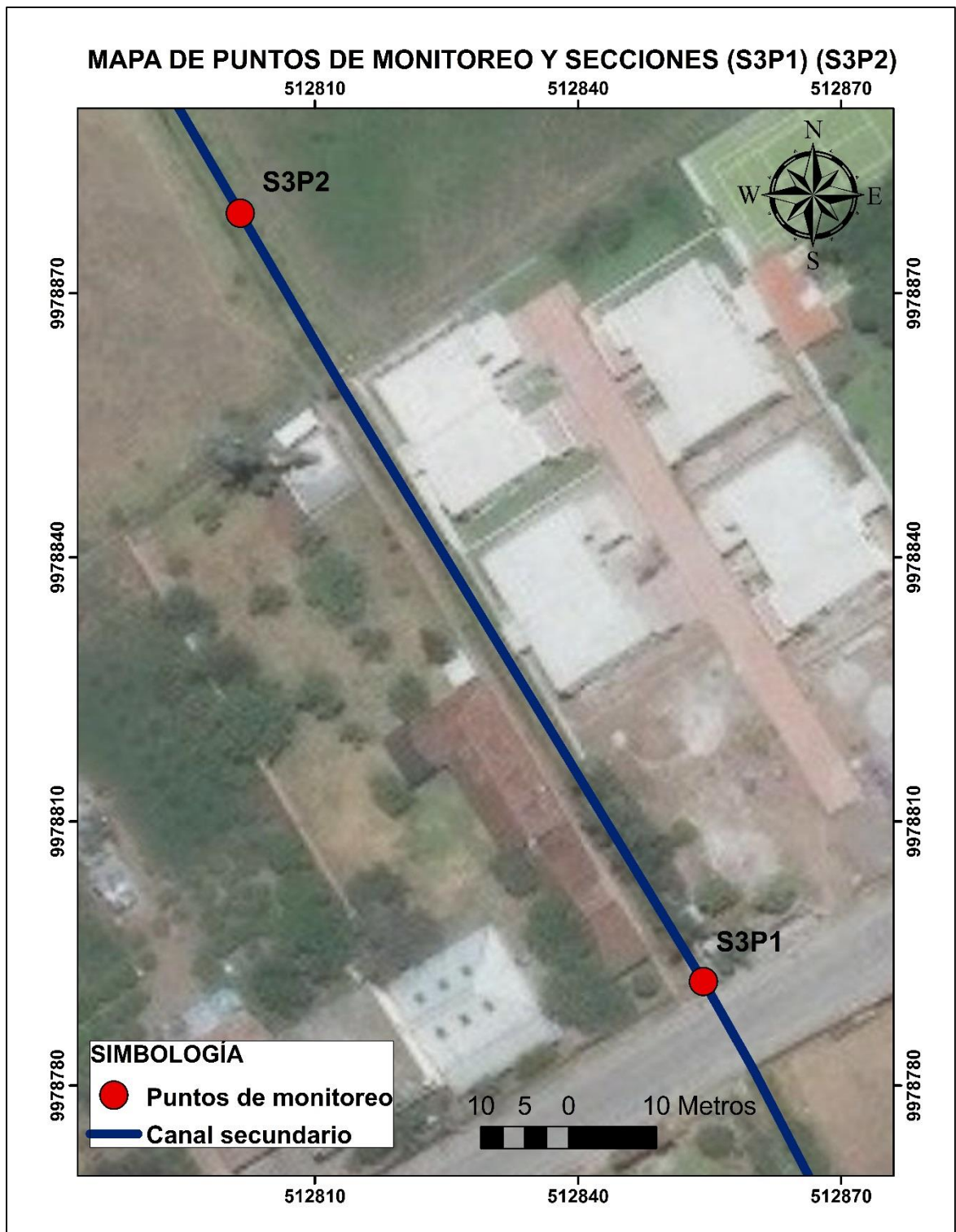


Figura 9. Ubicación de los puntos de monitoreo (S3P1) (S3P2).

3.4.1.3. Localización y reconocimiento del óvalo

Mediante la información temática del último catastro realizado se procedió a añadir las capas de predios de todos los usuarios del ramal “Chichipata” y luego se seleccionó por atributos el óvalo 22-A para exportarlo a una nueva geodatabase, se obtuvo las coordenadas geográficas y UTM de cada usuario y se revisó la tabla de atributos, la cual proporcionó información de nombres y apellidos de usuarios, área de la parcela, calles y pasajes, número telefónico y observaciones.

Para el reconocimiento del área de trabajo se procedió a realizar un recorrido en compañía de un señor canalero, se observó la entrada a la unidad terciaria, se ingresó a los predios de cada usuario y se ubicó la entrada a la toma de cada usuario, las redes de canales terciarios y los diferentes usos del suelo.

3.4.1.3.1. Puntos de monitoreo en el óvalo

Para la identificación de los puntos de monitoreo se ubicó la entrada a la unidad terciaria y la entrada a la toma de cada usuario (Figura 10), se procedió a georreferenciar cada punto a medir y a registrar en una base de datos el usuario, tiempo y turno.

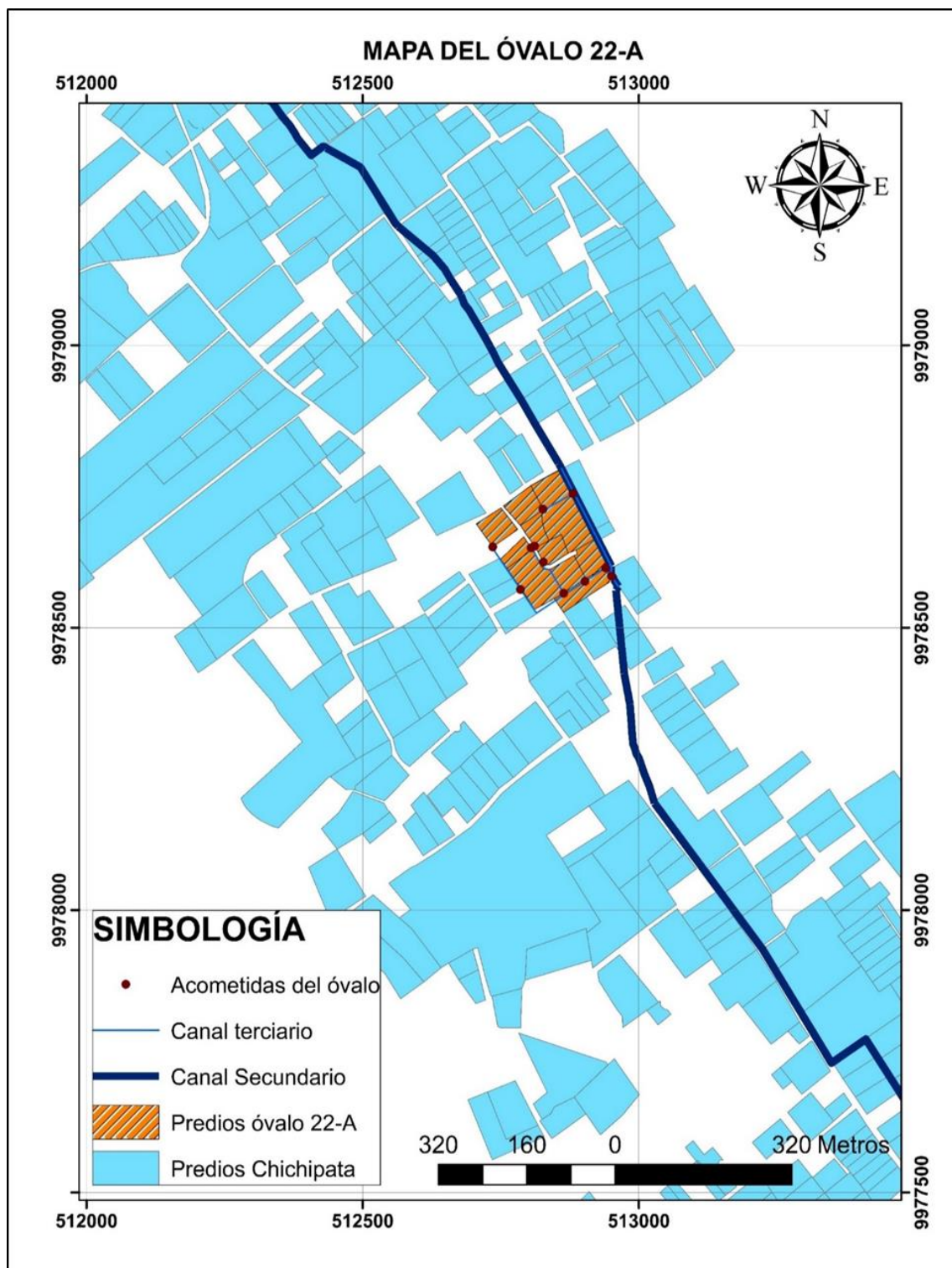


Figura 10. Ubicación del óvalo 22-A y puntos de monitoreo.

3.4.1.4. Medidores de caudal

3.4.1.4.1. Medidor de caudal para el canal secundario

Para la determinación del caudal que circula por el canal secundario del ramal “Chichipata” se utilizó el aforador Parshall, según los datos de caudal que proporcionó la JGUSIRTUM se estimó que por el canal circulaban aproximadamente 200 (l s^{-1}) y considerando los límites establecidos de diseño de un canal Parshall se utilizó uno con un ancho de garganta de 9 pulgadas, diseñado para un intervalo de caudal entre 2.5 a 251.0 (l s^{-1}).

3.4.1.4.2. Medidor de caudal para entrada a tomas de usuarios y óvalo

Para la determinación del valor del gasto que pasa por la entrada a la unidad terciaria y por la entrada a la toma de cada usuario se utilizó un vertedero, el cual posee una forma geométrica simple con una cresta aguda, la abertura es de forma rectangular sin contracciones y las medidas a las cuales se diseñó fueron: 0.19 m de longitud de cresta o abertura y una altura de cresta de 0.10 m.

3.4.1.5. Planificación y logística

La planificación y la logística comprenden la organización estructurada para realizar todas las tareas propuestas con la finalidad de que todo lo establecido se cumpla en el tiempo destinado.

Para las mediciones de caudal en el canal secundario se procedió a realizar una reunión en conjunto con el tutor de la tesis para la explicación correspondiente al uso e instalación del aforador Parshall, se establecieron las fechas de trabajo, se solicitó a la secretaria de JGUSIRTUM la presencia de un señor canalero para un mejor acceso y ubicación de los puntos de monitoreo, se realizó los grupos de trabajos y se les destinó una actividad a cada grupo las cuales fueron: Instalación del aforador, medición de caudal y registro de datos, también se realizó la contratación de un vehículo para la movilización de las herramientas de trabajo.

Para la medición del caudal en el óvalo, se realizó una reunión con el tutor para establecer la fecha de trabajo y analizar los últimos detalles sobre la utilización del vertedero; se solicitó la presencia de un operario del canal a la secretaria de la JGUSIRTUM, se solicitó el ingreso a los predios a la señora presidenta del óvalo 22-A, se establecieron los parámetros para la instalación y medición del caudal con el vertedero y para el registro de datos requeridos.

3.4.1.5.1. Diseño de registros de datos para eficiencia de conducción

Para la toma de datos en el canal secundario se realizó un documento o registro de datos que permitió anotar información relevante para la investigación como: fecha, ramal, sector donde se encuentran los puntos de monitoreo, coordenadas, altitud, método de medición, repetición de las mediciones, hora de medición, sección y punto, también se incluyó una hoja de observaciones: tipo de canal, presencia de pasto o malezas, material flotante, obras civiles y notas (Tabla 14) ubicada en el (Ver Anexo 2).

3.4.1.5.2. Diseño de registro de datos y entrevistas para eficiencia de distribución

Para la toma de datos en el óvalo se realizó un documento o registro de datos que permitió anotar información relevante para la investigación como: fecha, óvalo, usuario, calle principal, estatus, carga hidráulica (cm), observaciones y coordenadas; se procedió a realizar entrevistas al presidente de la Junta, canalero, presidenta del óvalo y a usuarios, realizando preguntas como: obligaciones, funciones, frecuencia de riego, caudal recibido, relación con la Junta, cómo se siente con el servicio (Tabla 15) ubicada en el (Ver Anexo 2).

3.4.1.5.3. Diseño y registro de datos para sobre y sub irrigación

Se realizó un documento o registro de datos que permitió anotar información sobre: fecha, óvalo, usuario, área total, área regable, cultivo, tipo de cultivo y fecha de siembra (Tabla 16) ubicada en el (Ver Anexo 2).

3.4.2. Campo o levantamiento de información

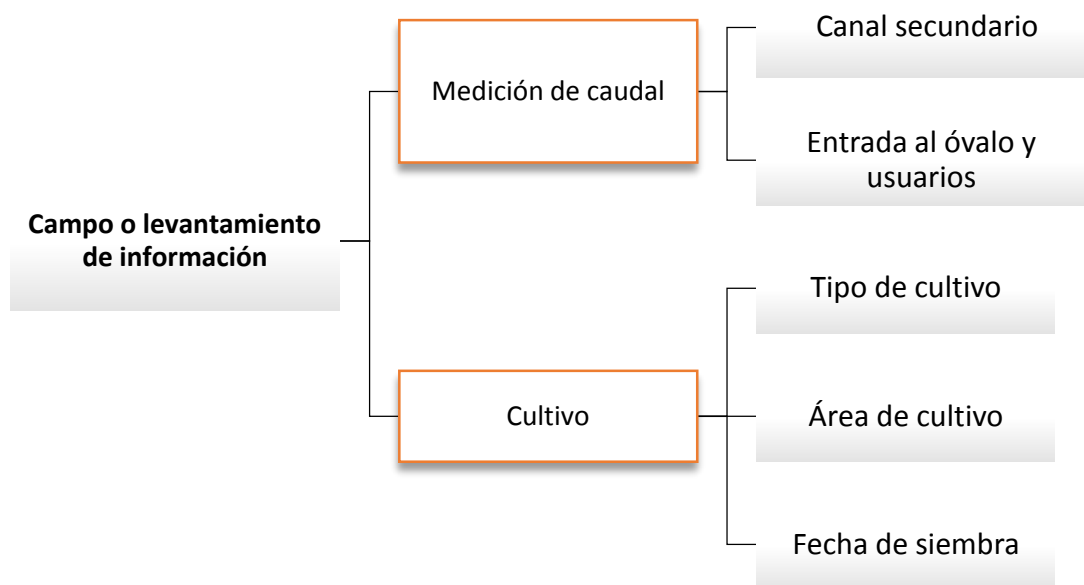


Figura 11. Flujograma de la metodología para la fase campo o levantamiento de información.

3.4.2.1. Medición de caudales en tres secciones del canal secundario

Medición de caudal con canal Parshall

Para la obtención de los caudales en las distintas secciones se procedió a organizar un grupo de trabajo, el cual se dividió en personal para instalar la herramienta de medición y en personal para registrar los datos, observaciones y para georreferenciar cada punto, también se contó con la presencia de un señor canalero para guiarnos y permitirnos el paso en el trayecto del canal. Para el aforo, en los seis puntos de monitoreo se empleó el canal Parshall, el mismo que se instaló al inicio y final de cada tramo (Ver Anexo 3), se realizaron tres mediciones por cada punto y se promedió la carga hidráulica, para el cálculo del caudal se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = m H a^n$$

Donde:

Q= Caudal (l s^{-1})

m= Constante (0.013762)

Ha= Carga hidráulica (mm)

n= Constante (1.53)

La fórmula anteriormente mencionada se utilizó determinando que el medidor Parshall está trabajando en descarga libre, esto sucede cuando el grado de sumersión (S) entre Hb y Ha es menor a 0.60. En donde los valores de m y n varían según el tamaño de diseño del medidor Parshall, ancho de garganta (W) (Trueba, 1975).

Tabla 2. Intervalos para determinar si el canal Parshall trabaja a descarga libre o con sumersión.

Tamaño Parshall (W)	Descarga libre	Con sumersión
W menor de 0.30 m	S menor que 0.60	S de 0.60 a 0.95
W entre 0.30 y 2.50 m	S menor que 0.70	S de 0.70 a 0.95
W entre 2.5 y 15.00 m	S menor que 0.80	S de 0.80 a 0.95

Fuente: (Trueba, 1975)

3.4.2.2. Medición de caudales en la entrada al óvalo y usuarios

Medición de caudal con el vertedero rectangular

Para la obtención de los caudales a la entrada al óvalo y a la entrada de cada usuario, se solicitó la presencia de un señor canalero, quién facilitó la entrada a los predios y la ubicación exacta de cada toma de entrada, se georreferenció cada punto y se anotó las observaciones en la hoja de registro. Se utilizó el vertedero rectangular sin contracciones con una longitud de cresta de 0.19 m, el cual se lo ubicó en la base del canal terciario y se esperó un margen de cinco minutos para luego registrar la carga hidráulica (Anexo 3), este proceso se realizó en la entrada a la unidad terciaria y en la entrada a cada toma de cada usuario; para el cálculo del caudal se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = CLHa^n$$

Donde:

Q= Caudal ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)

C= Constante (1.84)

L= Longitud de la cresta (0.19 m)

Ha= Carga hidráulica (m)

n= Constante (1.5)

La fórmula citada anteriormente se utilizó considerando el diseño del vertedero y las dimensiones del canal terciario, también por no presentar contracciones y estimar la velocidad de aproximación. Se determinó que el vertedero cumple con la característica de ser de pared delgada mediante la relación $e/Ha < 0.67$ donde: (e) es el espesor del vertedero y (Ha) la carga. También se cumple la relación $L/Ha > 3$ (Rocha, 2007:470).

3.4.2.3. Cultivos de cada usuario

Tipo de cultivo

Mediante la visita a cada predio y con ayuda de entrevistas se logró obtener información sobre el tipo de cultivo que se siembra en el óvalo, se procedió a registrar en una base de datos los distintos cultivos por usuario y a tomar puntos de referencia.

Área de cultivo

Una vez obtenida la información de los cultivos existentes en cada predio del óvalo, utilizando la ayuda de una orto fotografía y el software ArcGIS, se procedió a calcular las áreas según las referencias tomadas, también se excluyó casas dejando así solo el área regable.

Fecha de siembra

Mediante entrevistas se preguntó las fechas de siembra de los cultivos de ciclo corto presentes en los predios de cada usuario.

3.4.3. Procesamiento de datos

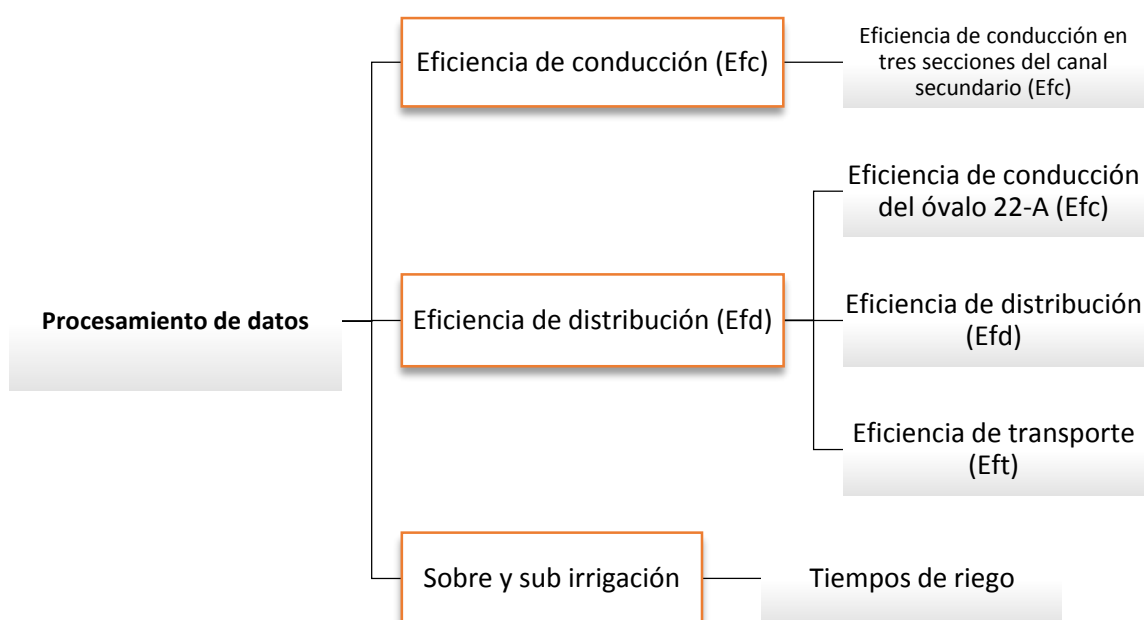


Figura 12. Flujograma de la metodología de la fase de procesamiento de datos.

3.4.3.1. Eficiencia de conducción

Eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario

Para la determinación de la eficiencia de conducción se utilizaron los caudales calculados en las tres secciones del canal secundario, luego se los categorizó como caudal inicial y final por cada sección para obtener tres eficiencias de conducción diferentes y se aplicó la siguiente fórmula (PSI):

$$Efc = \frac{Qf}{Qi} * 100$$

Donde:

Efc= Eficiencia de conducción (%)

Qf= Caudal final (l s⁻¹)

Qi= Caudal inicial (l s⁻¹)

Obtenidas las tres eficiencias de conducción del canal secundario se realizó una categorización de los porcentajes resultantes por cada tramo (Tabla 3).

Tabla 3. Valores y categorías para eficiencia de conducción.

Efc (%)	Categoría
>80	Excelente
70-80	Buena
50-70	Aceptable
<50	Inaceptable

Fuente: Villavicencio & Villablanca (2010)

3.4.3.2. Eficiencia de distribución

Dentro de la determinación de la eficiencia de distribución se incluyó la eficiencia de conducción del canal terciario del óvalo 22-A, con la finalidad de observar estas dos eficiencias en conjunto y determinar las posibles causas técnicas y sociales de algún comportamiento que este influyendo en la eficiencia de distribución y también para obtener el cálculo de la eficiencia de transporte.

Eficiencia de conducción en el óvalo 22-A

Para el cálculo de la eficiencia de conducción del óvalo 22-A se utilizó el caudal a la entrada a la unidad terciaria y los caudales a la entrada de la toma de cada usuario calculados anteriormente, se calculó la eficiencia de conducción para cada usuario y luego se promedió todos los valores se utilizó la siguiente fórmula (PSI):

$$Efc = \frac{Qu}{Qo} * 100$$

Donde:

Efc= Eficiencia de conducción (%)

Qu= Caudal usuario (l s⁻¹)

Qo= Caudal óvalo (l s⁻¹)

Eficiencia de distribución en el óvalo 22-A

El cálculo de la eficiencia de distribución se lo realizó utilizando los caudales medidos a la entrada de la unidad terciaria y a la entrada de la toma de los usuarios, también se necesitó información como: tiempo de riego asignado por la Junta y área real de riego de cada usuario, se utilizó la siguiente ecuación para calcular volumen:

$$V = Qi * Tr$$

Donde:

V= volumen (m³)

Qi= Caudal individual de cada usuaria (m³ h⁻¹)

Tr= Tiempo de riego (H)

Luego se realizó el cálculo del requerimiento por hectárea para cada usuario utilizando la siguiente fórmula:

$$Va = \frac{V}{Ar}$$

Donde:

Va= volumen por hectárea (m³)

V= volumen ingresado (m³)

Ar= Área regable (ha)

Obtenido los valores de volumen por hectárea de cada usuario se procedió a ordenar de mayor a menor los resultados obtenidos y se utilizó la fórmula de Christiansen para determinar la eficiencia de distribución.

$$Efd = \frac{\mu_{25\%}}{\mu} * 100$$

Donde:

Efd = Eficiencia de distribución (%)

$\mu_{25\%}$ inferior = promedio del cuarto inferior de los volúmenes más bajos

μ = promedio de los volúmenes determinados

Una vez obtenida la eficiencia de distribución se procedió a categorizar según la siguiente tabla:

Tabla 4. Categorías según la eficiencia de distribución.

Efd (%)	Categoría
90-100	Excelente
80-90	Buena
70-80	Aceptable
<70	Inaceptable

Fuente: Villavicencio & Villablanca (2010)

Eficiencia de transporte

La eficiencia de transporte evalúa la calidad de la operación del sistema de riego entre el agua que se capta desde el canal secundario y la distribución en la entrada a cada usuario del óvalo 22-A, una forma para determinar la eficiencia de transporte es conociendo la eficiencia de conducción y de distribución y se determina con la siguiente fórmula:

$$Eft = Efc * Efd$$

Donde:

Eft= Eficiencia de transporte (%)

Efc= Eficiencia de conducción (%)

Efd= Eficiencia de distribución (%)

3.4.3.3. Sobre y sub irrigación

Tiempo de riego

Para la determinación de la existencia de sobre o sub irrigación en los predios de la unidad terciaria estudiada, se calculó los tiempos de riego según las necesidades hídricas de los cultivos y se comparó con el tiempo de riego asignado por la Junta de Regantes.

Para el cálculo del tiempo de riego se utilizó la siguiente secuencia de ecuaciones que cumplen una metodología y orden según la FAO:

Evapotranspiración de referencia: esta variable permite estudiar la demanda de la evapotranspiración de la atmósfera en la zona de influencia de estudio, independientemente del tipo de cultivo y su fase de desarrollo. El método que se utilizó es multiplicando el coeficiente del tanque evaporímetro (K_c) por la evapotranspiración promedio mensual (Ordoñez, 2011). El K_p de la estación meteorológica “La Tola” es de 0.72, determinado mediante un estudio realizado por docentes de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador (Ortiz *et al.*, 2018:25).

$$ET_o = K_p * E_o$$

Donde:

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm día^{-1})

K_p = Coeficiente del tanque evaporímetro, estación “La Tola” (0.72)

E_o = Evapotranspiración promedio mensual (mm día^{-1}) datos INAMHI estación “La Tola”.

Evapotranspiración del cultivo: la ET_c permite conocer las pérdidas de agua en diferentes tipos de cultivos dentro de los predios de los usuarios, aprovechando la ET_o calculada anteriormente y multiplicada por el Coeficiente de cultivo (K_c) de cada cultivo en su fase determinada (Ordoñez, 2011:31).

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm día^{-1})

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm)

K_c = Coeficiente del cultivo

Necesidad hídrica mensual: Se determinó por el método de la conservación de la masa y sirve para determinar los requerimientos de agua mensuales que necesitan los cultivos (Ortiz, 2017:28)

$$NHM = Pe + DH - Etc$$

Donde:

NHM= Necesidad hídrica mensual (mm mes⁻¹)

Pe= Precipitación efectiva (mm mes⁻¹)

DH= Aporte de precipitaciones anteriores (mm mes⁻¹)

Lámina neta: se utiliza para conocer la cantidad de agua que se debe aplicar para cubrir la cantidad de agua perdida por evapotranspiración. La ecuación para su determinación utiliza variables que se determinan mediante una recopilación de información del cultivo y parámetros físicos del suelo (Ortiz, 2017:8).

$$Ln = p \left(\frac{CC - MP}{100} \right) pr$$

Donde:

Ln= Lámina neta (mm)

P= Porcentaje máximo de agotamiento de agua en el suelo (decimal)

CC= Capacidad de campo (%)

MP= Punto de marchitamiento (%)

Pr= Profundidad radicular del cultivo (mm)

Necesidad hídrica diaria del cultivo: se determina mediante la fórmula del (SCS), en función de NHM y Ln (Ortiz, 2017:28).

$$NHD = 0.034 \left(\frac{NHM^{1.09}}{Ln^{0.09}} \right)$$

Donde:

NHD= Necesidad hídrica diaria del cultivo (mm día⁻¹)

NHM= Necesidad hídrica mensual (mm mes⁻¹)

Ln= Lámina neta (mm)

Necesidad hídrica ponderada: la necesidad hídrica ponderada es la sumatoria del producto de NHD con el área (A) del cultivo independiente y esto dividido para el área total del predio del usuario (Ortiz, 2017:29)

$$NHDp = \frac{\sum_n^a (NHD * A)}{AT}$$

Donde:

NHDp= Necesidad hídrica diaria ponderada (mm día⁻¹)

NHD= Necesidad hídrica diaria del cultivo (mm día⁻¹)

A= Área del cultivo (m²)

AT= Área total del agricultor (m²)

Lámina total: es la cantidad de agua que se debe aplicar para asegurar una buena penetración del agua en la zona radicular, utiliza las variables de frecuencia de riego y la eficiencia de aplicación según el método de riego del usuario obtenidos en la recopilación de información y la NHDp calculada anteriormente (Ortiz, 2017).

$$Lt = \frac{NHDp * Fr}{Efa}$$

Donde:

Lt= Lámina total (mm día⁻¹)

NHDp= Necesidad hídrica diaria ponderada (mm día⁻¹)

Fr= Frecuencia de riego (días)

Efa= Eficiencia de aplicación (%)

Volumen de riego necesario: con el cálculo del volumen se determina la cantidad de agua necesaria para satisfacer las necesidades del cultivo, utiliza variables calculadas anteriormente Lt y se incluyen las áreas de cada cultivo individual (Ortiz, 2017).

$$V = \frac{10 * Lt * A1}{10000}$$

Donde:

V= Volumen de riego necesario (m³)

Lt= Lámina total (mm día⁻¹)

A1= Área de cultivo independiente (m²)

Tiempo de riego: el tiempo de riego se determina despejando la ecuación que indica que el caudal es igual a volumen sobre tiempo, posteriormente se procede a despejar el tiempo y se obtiene el resultado por cada cultivo (Ortiz, 2017).

$$T = \frac{V}{Q * 3.6}$$

Donde:

T= Tiempo de riego (h)

V= Volumen de riego necesario (m³)

Q= caudal medido (l s⁻¹)

Interpretación de Sobre y sub irrigación

Para determinar el exceso o déficit de agua para cada usuario se utilizó los tiempos de riego mensuales calculados y se los comparó con los tiempos asignados por la Junta de Regantes, si el tiempo de riego calculado es mayor al asignado por la Junta existe sub irrigación, es decir, que no cubren las necesidades hídricas de los cultivos, caso contrario existe sobre irrigación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Levantamiento de información

En el siguiente apartado se presentarán los datos característicos más importantes obtenidos durante esta investigación en las secciones del canal secundario y el óvalo (unidad terciaria de riego).

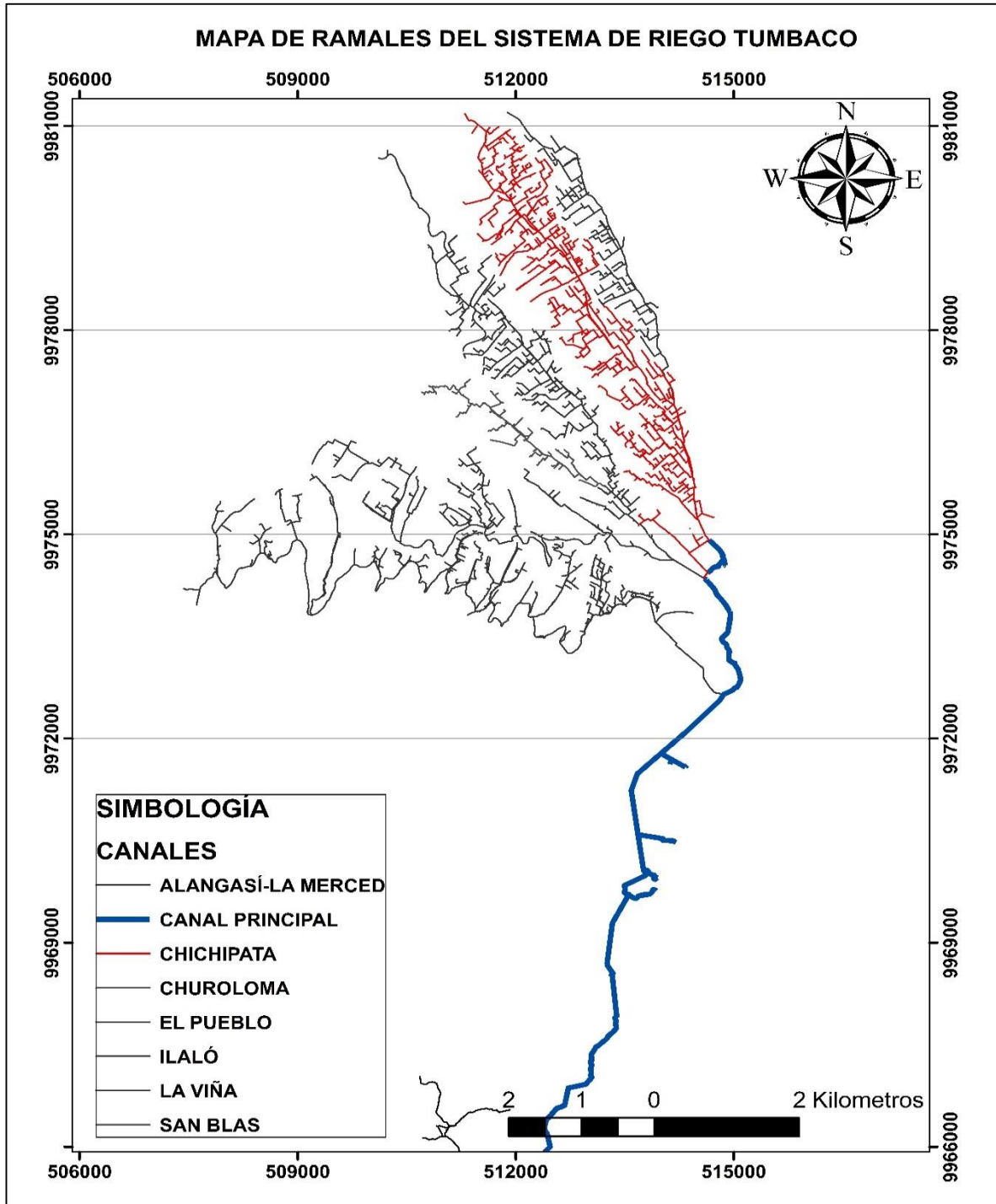


Figura 13. Ubicación del ramal "Chichipata" y del canal principal.

4.1.1. Secciones

Las tres secciones del canal secundario presentaron: la primera sección un canal de tipo abierto (base de tierra), la segunda sección un canal de tipo abierto (base de cangahua) y la tercera sección un tipo de canal revestido (concreto) (Tabla 5). Dicho canal cuenta con una longitud total de 8.6 km (Figura 14), el cual se clasifica en cuatro tipos diferentes: abierto (69.36%), revestido (16.34%), entubado (9.62%) y embaulado (4.68%) (Ver Anexo 1).

Tabla 5. Información de las secciones del canal secundario

Sección	Coord.	Sector	Longitud	Observación	Foto
S1P1	x: 792306 y: 9976993 z: 2448	El Arenal	50 m	La sección evaluada presentó una estructura no revestida con una base de tierra, paredes cubiertas por kikuyo, algas en la base y presencia de plástico, vidrio y madera (basura).	
S1P2	x: 792284 y: 9976975 z: 2441.7				
S2P1	x: 791132 y: 9978789 z: 2387				
S2P2	x: 791078 y: 9978875 z: 2383.1	La Esperanza	100 m	La segunda sección presentó una estructura no revestida, con una base de cangahua, las paredes cubiertas por maleza, presentó restos de construcción, plásticos y estaba cerca de una chanchera.	
S3P1	x: 790116 y: 9980004 z: 2375.3	Collaquí	100 m	La siguiente sección presentó una estructura revestida de concreto, se presenció sedimento en la base, también la presencia de material flotante: botellas de plástico, fundas de basura y restos orgánicos.	
S3P2	x: 790012 y: 9980046 z: 2373.4				

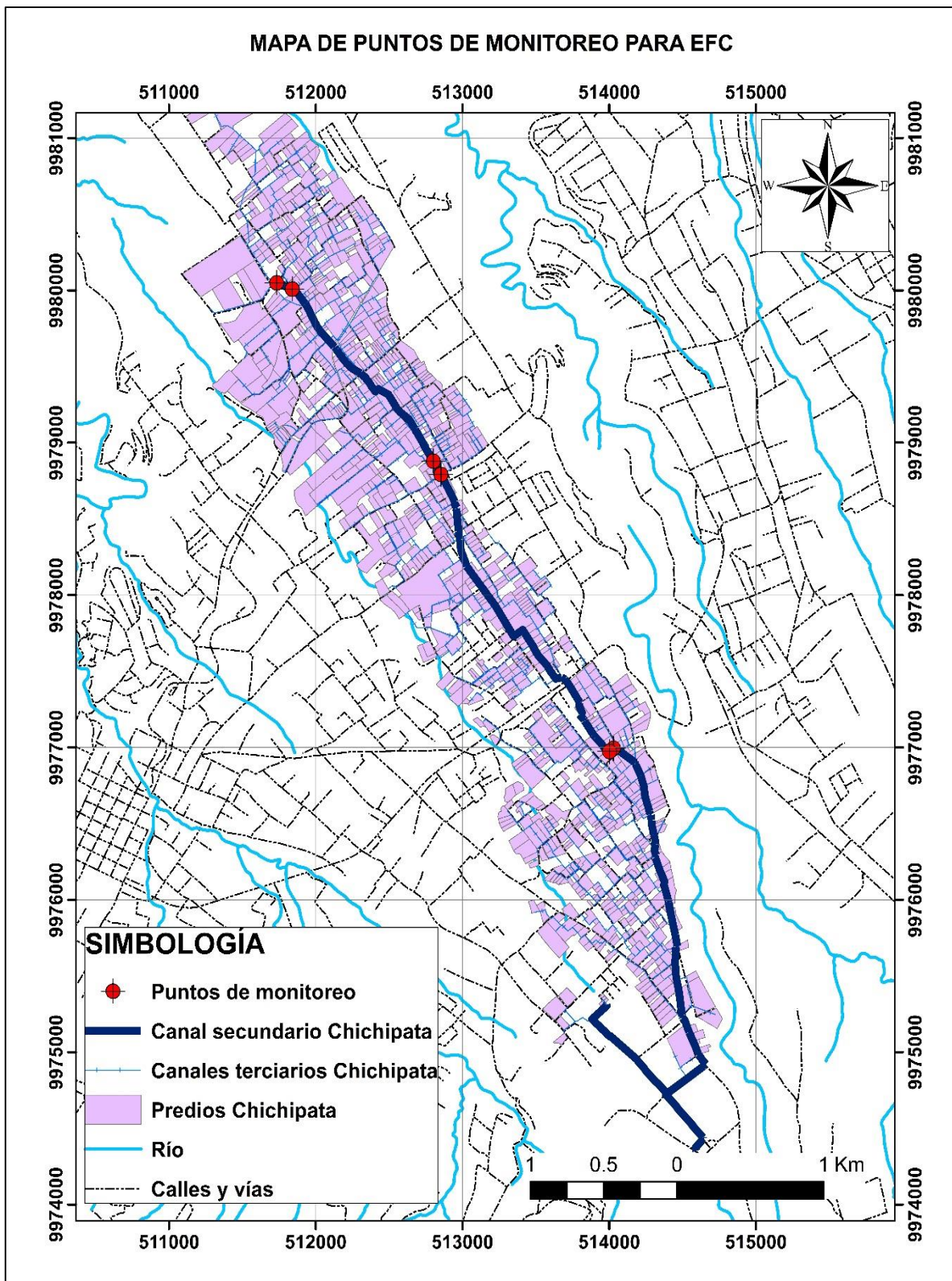


Figura 14. Secciones de medición, canales y predios del ramal "Chichipata".

4.1.2. Óvalo (Unidad terciaria de riego)

4.1.2.1. Infraestructura presente en el óvalo 22-A

En el óvalo 22-A, la entrada principal posee una tubería de 4 pulgadas de diámetro y una longitud de 60 cm, desde el canal secundario hacia el canal terciario. La entrada y cierre de flujo se la realiza mediante una compuerta metálica. El canal terciario con una longitud de 476 m cuenta con 70.4% de canal revestido y 29.6% de canal no revestido, además las tomas de entrega al usuario fueron 80.0% revestida y 20.0% no revestida como se puede observar en la tabla 6.

Tabla 6. Infraestructuras de entrega de agua a usuarios.

Estructuras de entrega	Tipo	Porcentaje (%)	Observaciones	Foto
Entrada al óvalo	Entubada	100.0	Para el ingreso al óvalo se encontró una tubería de 4 pulgadas de diámetro y de 60 cm de longitud la cual se abría y cerraba mediante una compuerta metálica, se podía observar como material basura podía taponar el ingreso por obstrucción.	
Canales	Revestida No revestida	70.4 29.6	Los canales terciarios presentaron una estructura revestida con hormigón y secciones de canal abierto, el agua se distribuye por turnos.	
Tomas de entrega al usuario	Revestida No revestida	80.0 20.0	Las tomas presentaron una estructura tipo revestida y no revestida, en su mayoría con compuerta metálica para ingreso y cierre de flujo según su turno.	

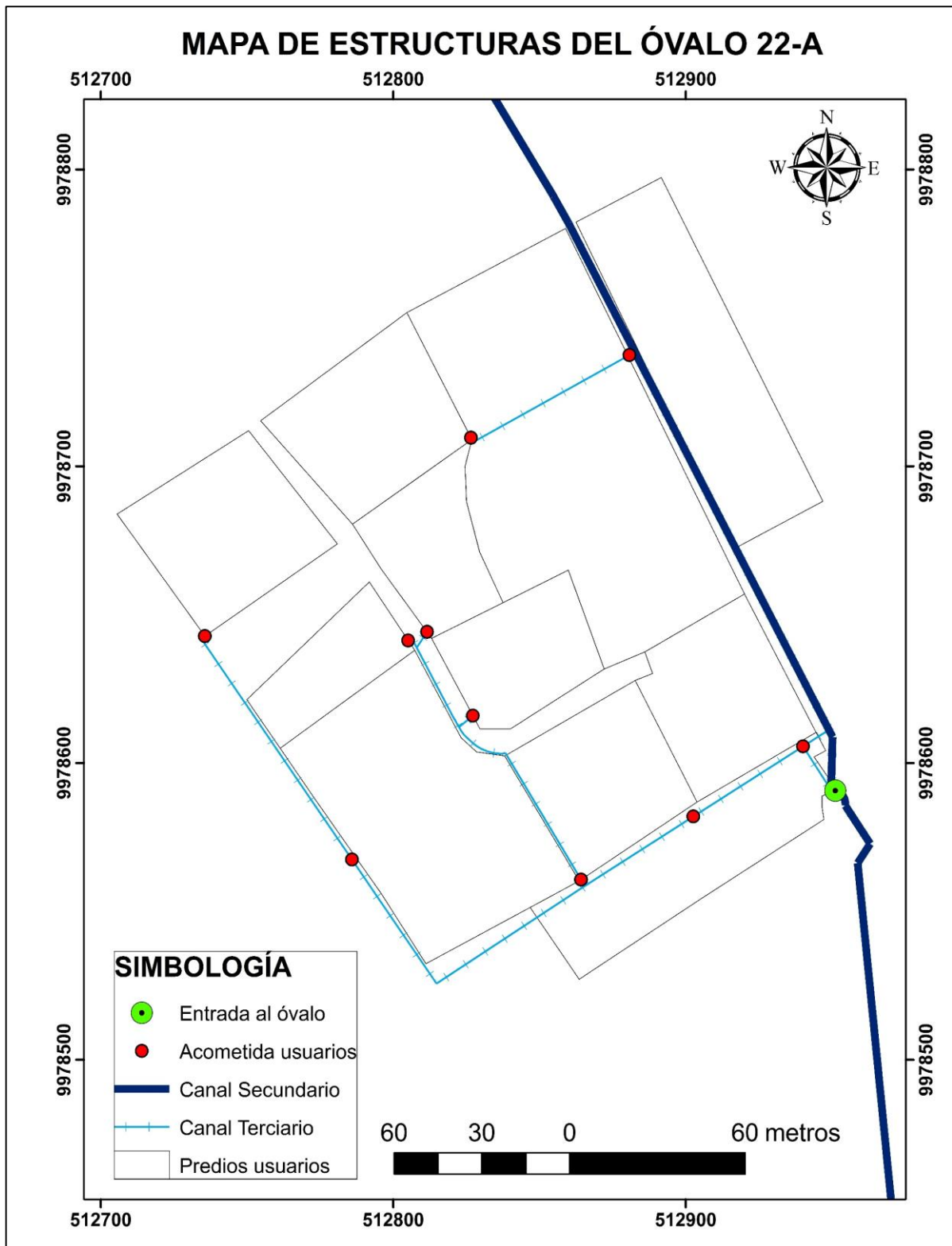


Figura 15. Estructuras hidráulicas en el óvalo 22-A.

4.1.2.2. Caracterización actual de los usuarios del óvalo 22-A

El óvalo se encuentra organizado por una presidenta, quien, en conjunto con los usuarios, programa la operación y el mantenimiento y es la encargada de entregar el agua basándose en los turnos y tiempos de riego asignados por la Junta a cada usuario.

En el óvalo 22-A se encontraron 10 usuarios activos registrados en el padrón de usuarios de la Junta de Regantes (Tabla 7). Se pudo conocer que hace dos años existían 11 usuarios, un usuario fue desvinculado por presentar un estado de inactividad (no asistía a las reuniones, no apoyaba en mingas y actividades) en la organización del óvalo. Aquí claramente se observa la aplicación del concepto de derecho al agua definido por Gerbrandy & Hoogendam (1998:84) “*Expresiones de relaciones sociales, que definen quiénes pueden y quiénes no pueden utilizar el agua*”. En este caso, el usuario puede estar al día en los pagos con la Junta, pero dentro de la organización del óvalo ya no tiene derecho alguno para tomar agua de riego, esto por no cumplir con las obligaciones contenidas en el derecho al agua.

Tabla 7. Usuarios del óvalo 22-A.

N°	Usuarios	Código	Tiempo (h)	Estado
1	Fernández Bucheli Jorge Fernando	212221	59	Activo
2	Manotoa Alvarado Edith Alicia	212222	12	Activo
3	Fernández Robert Henry	212225	12	Activo
4	Navas Moya Amanda	212219	18	Activo
5	Rodríguez Ojeda Fernando Edgardo	212216	12	Activo
6	Carranco Ron Luis Eduardo	212223	10	Activo
7	Flores Miranda Vicente Javier	212224	8	Activo
8	Flores Recinos Josué David	212227	6	Activo
9	Rojas Pazmiño Rosana y otros	212226	27	Activo
10	Proaño Martha	212228	13	Activo

Dentro del óvalo, se pudo observar que la mayoría de personas que pasan en los predios son mujeres, mientras que los hombres trabajan en otras actividades diferentes a la agricultura. Se evidenció el poco interés por la agricultura, sin embargo, estos usuarios no dejan de estar al día en los pagos del uso al agua, porque les sirve para regar los jardines y cultivos. Hay que precisar que la zona de estudio está en una creciente urbanización y que los predios tienen un valor mayor por la zona que por lo que la tierra fértil les pueda ofrecer.

4.2. Determinación de la eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario

Las eficiencias de conducción en las tres secciones del canal secundario fueron las siguientes: la primera sección presentó el menor valor de eficiencia con el 92.09%, mientras que la segunda y la tercera sección presentaron valores del 98.55% y 98.62%, respectivamente. Categorizándose las tres eficiencias como “excelentes” (Tabla 8).

Tabla 8. Eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario.

Sección	Q_i (l s ⁻¹)	Q_f (l s ⁻¹)	Eficiencia de conducción (%)	Tipo de canal	Categoría
1	237.62	218.83	92.09	Abierto	Excelente
2	107.34	105.78	98.55	Abierto	Excelente
3	40.47	39.91	98.62	Revestido	Excelente

Maldonado (2001), indica que la eficiencia de conducción en la red de canales secundarios va a depender de algunos componentes físicos del canal como: el caudal que circula, la pendiente a la cual está diseñado, tipo de sección, rugosidad y permeabilidad del material con el cual está construido, sin embargo, también influye la parte operacional y de mantenimiento del sistema.

Aunque las eficiencias de conducción se categorizaron como excelentes, el estado actual del canal secundario no deja de ser preocupante, se pudo constatar mediante un recorrido en el canal, la falta de mantenimiento en estructuras revestidas (Figura 16). El servicio que prestan los canaleros es deficiente y esto es porque existen pocas personas manejando áreas extensas. A lo largo del canal se podían escuchar los reclamos de personas de la tercera edad exigiendo agua al señor canalero y él con sus propias palabras les dijo “*es que el presidente nuevo de la Junta no tiene mucha experiencia, esperece un ratito más*”.

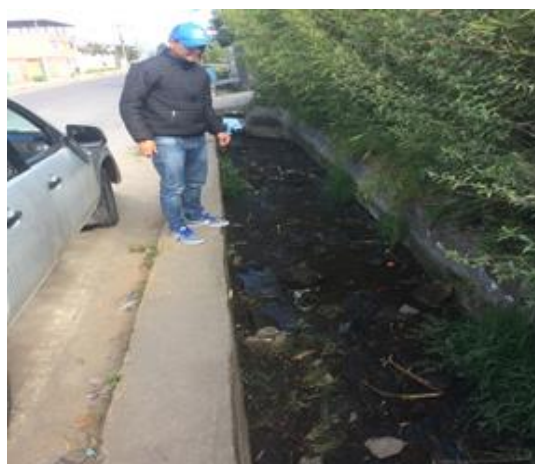


Figura 16. Canal secundario sin agua con sedimentos, piedras y malezas.

Independientemente de las eficiencias de conducción, se evidenció una diferencia de flujo entre el caudal inicial y final de cada sección, donde las secciones uno, dos y tres presentaron pérdidas de 19.79 l s^{-1} , 1.56 l s^{-1} y 0.56 l s^{-1} , respectivamente (Figura 17), se asume que la primera sección tuvo una pérdida mayor por ser un canal no revestido y por presencia de infiltración en la sección del canal, en la tercera sección se presentó la menor pérdida, la misma que posee las características de ser revestida y mantener una pendiente plana y uniforme.

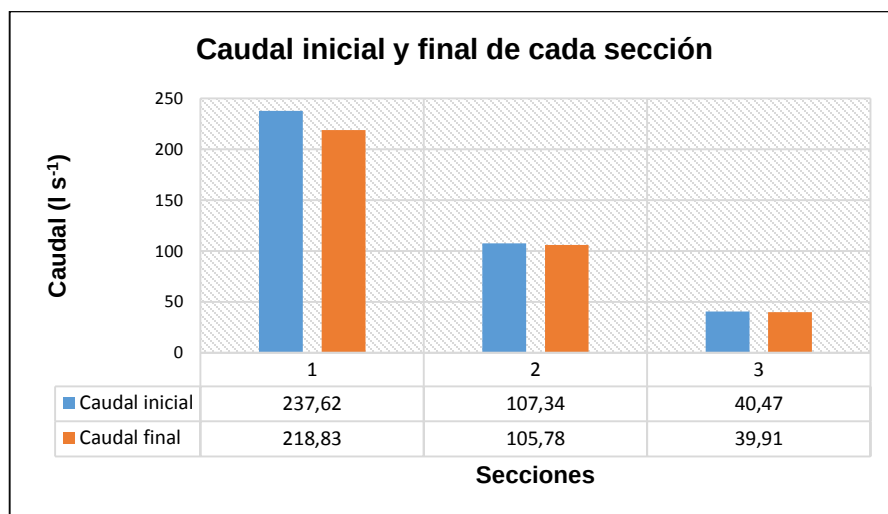


Figura 17. Diferencia entre el caudal inicial y final de cada sección.

Mejía *et al* (2002), indica que la eficiencia de conducción en un canal, tiende a presentar valores bajos cuando existen pérdidas de flujo en canales no revestidos y estructuras de control deterioradas que no están adecuadas para mantener niveles constantes de agua, como también por falta de mantenimiento en obras de conducción o pérdidas operativas. Por otra parte, también existen las pérdidas por presencia de usuarios ilegales al sistema de riego o pérdidas administrativas.

El canalero manifestó que no existen tomas ilegales que deriven agua desde la matriz, sino que los usuarios ilegales toman el agua con mangueras y succionan mediante bombas desde el canal secundario hasta sus predios. Cuando esto sucede al día siguiente el canalero realiza el reporte a la presidencia de la Junta, el presidente de la Junta procede a realizar una visita al lugar y un llamado de atención, manifestándoles que la reincidencia puede costarles sanciones legales, en muchos de estos casos, el canalero no lleva la evidencia correcta como fotos o videos y se suele pasar por alto.

4.2.1. Aspectos socio-organizativos en el ramal

El Sistema de Riego Tumbaco se encuentra administrado por el Directorio de la Junta de Riego, el mismo que se encuentra conformado por: presidente, vicepresidente, secretario, tesorero y siete vocales principales, los cuales son los presidentes de cada ramal, dentro de cada ramal existe un presidente por cada óvalo con el objetivo de fortalecer la estructura organizativa y hacer cumplir el estatuto y las normas.

El presidente de la Junta tiene como función la administración, operación y mantenimiento (AOM) del Sistema de Riego Tumbaco, dentro de estas funciones indicó que sus labores son: *“la elaboración de los turnos y horarios de riego, la realización de actividades para reestructurar obras que incrementen la eficiencia del sistema, verificación del funcionamiento de estructuras, como: bocatoma, desarenador, canales de conducción y tomas. Además es el encargado de operar la conducción y distribución del agua de riego desde la captación principal hasta la toma de la unidad terciaria”*⁵.

En campo, el presidente trabaja en conjunto con los canaleros, encargados de la operación y mantenimiento de los canales secundarios. El canalero asignado en el ramal “Chichipata” indicó que las labores que le competen son: *“la apertura y cierre del canal según las órdenes del presidente de la Junta, la limpieza de residuos sólidos a lo largo del canal secundario, la vigilancia de que usuarios ilegales no tomen agua del canal, el llamado de atención en construcciones para que no dejen escombros en el canal y el recorrido diario para supervisar dichas labores”*⁶.

Estos actores interactúan entre ellos para proporcionar un servicio, el cual consiste en entregar la cantidad de agua necesaria para cubrir la demanda hídrica de los cultivos, sin embargo, se pudo evidenciar que la estructura de trabajo no está organizada. El mantenimiento realizado por parte de los canaleros no es eficiente, dado que existen secciones de canal que presentan una gran cantidad de sedimentos, presencia de malezas, piedras y basura, reduciendo el área de flujo en secciones aguas abajo del canal, también se presentaron reclamos por parte de usuarios que no reciben el agua en los turnos establecidos.

⁵ Entrevista al presidente de la Junta de Regantes.

⁶ Entrevista al canalero asignado en el ramal Chichipata.

4.3. Determinación de la eficiencia de conducción, distribución y transporte en el óvalo 22-A

4.3.1. Determinación de la eficiencia de conducción en el óvalo 22-A

Se determinaron las eficiencias de conducción desde el óvalo hasta la toma de entrega de cada usuario y la eficiencia de conducción total en la red de canales terciarios (Tabla 9), la eficiencia máxima se presentó en el usuario (2) con 99.34% y la mínima en el usuario (10) con 36.42%, siendo la eficiencia promedio del 76.67%, categorizándose como una eficiencia buena, la eficiencia más baja se presentó por el efecto integrado de los siguientes factores: caudal, evaporación directa desde el espejo de agua del canal, infiltración en la sección del canal y permeabilidad o fugas a través de las tomas de los usuarios.

Tabla 9. Cálculo de la eficiencia de conducción en el óvalo 22-A.

N°	Usuario	Q (l s ⁻¹)	Efc (%)
1	Fernández Bucheli Jorge Fernando	3.35	-
2	Manotoa Alvarado Edith Alicia	3.33	99.34
3	Fernández Robert Henry	3.33	99.34
4	Navas Moya Amanda	3.13	93.42
5	Rodríguez Ojeda Fernando Edgardo	3.12	93.10
6	Carranco Ron Luis Eduardo	2.29	68.37
7	Flores Miranda Vicente Javier	2.05	61.17
8	Flores Recinos Josué David	1.82	54.25
9	Rojas Pazmiño Rosana y otros	1.38	41.27
10	Proaño Martha	1.22	36.42
Promedio			74.67

Técnicamente, la eficiencia de conducción se determina relacionando la cantidad de agua que ingresa y sale en un tramo del canal, la cual se encuentra directamente relacionada con el tipo de revestimiento, caudal en el canal, evaporación directa, infiltración y fugas a través de las compuertas (Maldonado, 2001). Bajo este contexto, se puede decir que se obtuvo una eficiencia baja en los últimos usuarios, porque el caudal de ingreso a la toma principal de la unidad terciaria (3.35 l s⁻¹) es muy bajo para recorrer una longitud de 476 m, tomando en cuenta que el 29.6% de la sección del canal no está revestida (último tramo) y las fugas en compuertas de usuarios aguas arriba, incumpliendo con el literal “c” del artículo 12 del Estatuto y Reglamento de Operación y Mantenimiento, el cual dice que *“Es obligación de todo usuario construir y mantener en óptimas condiciones los accesos o tomas de agua de riego y evitar desperdicios que afecten a otros”*.

4.3.2. Determinación de la eficiencia de distribución en el óvalo 22-A

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: el usuario (1) presentó el máximo volumen con 711.20 m³, el usuario (8) presentó el menor volumen con 39.31 m³ y el promedio del volumen asignado en el óvalo fue de 170.81 m³. La eficiencia de distribución promedio en la unidad terciaria fue del 53.05% (Tabla 10), la cual se categoriza como una eficiencia baja. La baja distribución está asociada a la infraestructura, los tiempos de riego asignados por la Junta de Regantes y la operación y mantenimiento dentro del óvalo. En la infraestructura se producen pérdidas de agua por evaporación directa, infiltración y fugas a través de las compuertas, lo cual disminuye el caudal desde el óvalo hasta el último usuario, afectando el volumen de agua entregado, el tiempo de riego asignado por la Junta de Regantes no está actualizado, lo cual también afecta al volumen de entrega de agua y la presidenta (operador) no conoce el caudal que necesita cada usuario independientemente.

Tabla 10. Cálculo de la eficiencia de distribución.

Usuarios	Q (l s ⁻¹)	Tiempo (h)	Volumen (m ³)	Área (ha)	V (m ³ ha)	Efd (%)
1	3.35	59	711.20	0.76	934.85	53.05
2	3.33	12	143.69	0.21	691.72	
3	3.33	12	143.69	0.17	846.36	
4	3.13	18	202.70	0.24	837.87	
5	3.12	12	134.67	0.13	1066.02	
6	2.29	10	82.41	0.12	680.94	
7	2.05	8	58.99	0.09	646.90	
8	1.82	6	39.31	0.10	397.89	
9	1.38	27	134.32	0.41	327.23	
10	1.22	13	57.07	0.16	354.59	

Según Snellen (1997), un método de distribución de agua, es la distribución proporcional del caudal o conocida como entrega proporcional, en este método el caudal de ingreso a la unidad terciaria es capaz de abastecer al mismo tiempo de igual proporción a todos los usuarios, este método es práctico siempre y cuando exista la infraestructura adecuada como vertederos, canales revestidos y un caudal que abastezca a todos los usuarios. Bajo este contexto, en el óvalo 22-A no se puede aplicar esta metodología, porque el caudal de ingreso no cubriría los requerimientos hídricos para todos los usuarios al mismo tiempo, sumándole las pérdidas por conducción, percolación y evaporación.

Debido a que el caudal no abastece para aplicar el método anterior, el óvalo se opera mediante el método de turnos de riego, en el cual la encargada de la operación es la presidenta del óvalo 22-A y sus funciones son velar por el cumplimiento de la hora y turno, realizar mingas de limpieza y actividades para mejorar el canal terciario. Mediante las observaciones y entrevistas, se pudo conocer que no existían las estructuras y herramientas adecuadas para estimar el caudal de ingreso, lo cual es importante al momento de suministrar el agua de riego y tampoco se conocía el caudal de ingreso por parte de los usuarios a cada toma de entrada.

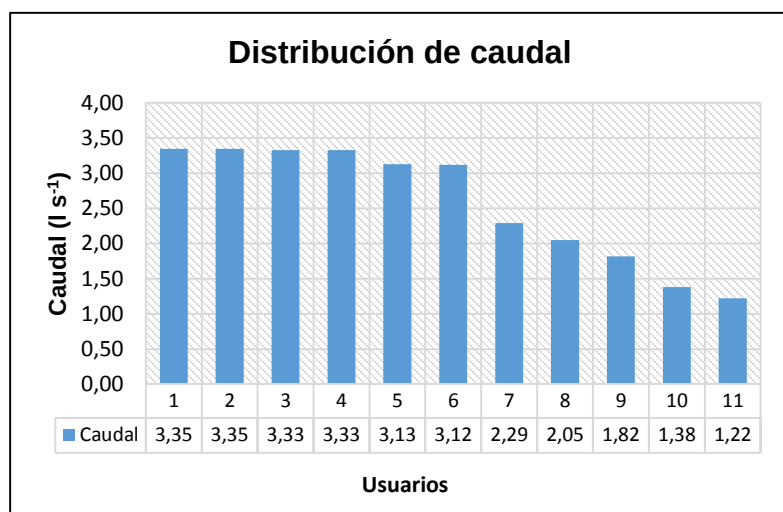


Figura 18. Distribución de caudal a usuarios del óvalo 22-A.

En la figura 18, se puede observar la distribución de caudal en el óvalo 22-A. La pérdida de agua desde la entrada hasta el último usuario fue de 63.58%, indicando que el último usuario solo tomó el 36.42% de lo que toman los primeros usuarios y con el mismo tiempo y turno asignado por la Junta.

Si se analiza la eficiencia de distribución, se puede determinar que son aproximadamente la mitad de los usuarios los que no reciben el caudal medido a la entrada al óvalo. El caudal en el óvalo fue de 3.35 l s^{-1} y el caudal más bajo de 1.22 l s^{-1} , debido a la pérdida del agua que se produce por infiltración en el cauce, evaporación directa del agua desde el espejo del canal y filtración a través de las tomas de los usuarios. Por otro lado, los tiempos de riego asignados por la Junta no son actualizados en función del área de cultivo, tipos de cultivos y caudal de ingreso al usuario. Esto indica que la Junta no maneja las herramientas de medición de caudales, no cumple con el estatuto y no se relaciona profundamente con los usuarios, por lo tanto, no cumple con el control del agua referido por Hidalgo (2010:20) *“el control del agua comprende el uso tecnológico, normas y reglas, organización, utilización de relaciones políticas, sociales y económicas que intervengan en el acceso de los derechos al agua”*.

4.3.3. Determinación de la eficiencia de transporte en el óvalo 22-A

La eficiencia de transporte en la unidad terciaria fue de 39.61%, esto indica que existe un 60.39% que no está siendo aprovechado por los usuarios (Tabla 11), lo cual representa una pérdida significativa por la operación del óvalo 22-A, esto se debe a la sumatoria de pérdidas por conducción y distribución.

Tabla 11. Eficiencia de transporte dentro de la unidad de riego.

Eficiencia	(%)	Eft (%)
Efc	74.67	39.61
Efd	53.05	

En otras palabras, podemos decir que, para que un agricultor reciba en su predio un determinado caudal, se debería tomar en cuenta las pérdidas por transporte. Minchola & Radas (2009:20), indican que la pérdida por transporte se puede dar por dos razones, las pérdidas por el manejo que son variables y dependen de la distribución que se realice y las pérdidas por la red de canales en la cual se encuentran involucradas infiltraciones y evaporación directa desde el espejo de agua.

La baja eficiencia se obtuvo, porque se consideran pérdidas de fluido por la deficiente operación de la organización, estas se dividen en dos pérdidas, por conducción y distribución dentro del óvalo, por conducción cuando el caudal ingresado no abastece hasta la última sección del canal y distribución cuando no se regulan los tiempos y turnos de riego además de una serie de factores ya explicados.

4.3.4. Aspectos socio-organizativos del óvalo 22-A

Los actores que interactúan en la organización del óvalo 22-A son: la presidenta y los usuarios, estos actores participan en la organización de mingas de limpieza de canales terciarios y actividades como reuniones de trabajo, en las que se recaudaba una cuota y se compraba material de construcción para el mejoramiento de la infraestructura (la no asistencia a mingas puede costar una multa de 10.00 USD). En la visita de campo se pudo observar que el tipo de canal en su mayoría era revestido, esto se debe a las actividades mencionadas anteriormente.

La operadora del sistema es la presidenta del óvalo, la cual se encarga de hacer cumplir con los turnos y tiempos de riego de cada usuario, pero aquí se puede evidenciar claramente que bajo ningún criterio técnico se realizaba esta distribución, y esto sucede, porque desde la Junta de Regantes le dan la orden de hacer cumplir los turnos y tiempos de riego asignados por la Junta.

Los usuarios, actores directos en la organización, mantuvieron una posición dividida en cuanto a la actual presidencia, un usuario no estaba de acuerdo con multas que le habían impuesto por mandar en reemplazo a un trabajador a las mingas, las palabras del señor trabajador fueron las siguientes: *“Yo no voy a pagar esa multa, porque como trabajador asistí a la minga y trabajé más que la presidenta”*⁷. Mientras que un grupo de usuarios que estaban conformes con la organización de la presidenta, manifestaron que, para abrir la compuerta del óvalo tienen que pasar por el predio del señor citado anteriormente pero el problema es el siguiente: *“El señor saca perros bravos para no dejar pasar y tenemos que pagar a personas particulares para que nos den abriendo”*⁸.

Se puede decir que los trabajos que se realizaron para la mejora de la distribución son buenos por parte de la presidenta y los usuarios, los usuarios que no aportan a la mejora del canal van a obtener bajos resultados de eficiencia, no obstante, esto no deja de lado ciertas lógicas elementales como: si va a trabajar una persona por otra, no se debería cobrar una multa, también se debería realizar la asignación real del turno y tiempo con base en criterios técnicos. Es correcto que se manejen las normas y estatutos, pero siempre y cuando se respeten los derechos que tienen el conjunto de usuarios.

⁷ Entrevista a trabajador de uno de los predios que conforma el óvalo 22-A.

⁸ Entrevista a usuarios del óvalo 22-A.

4.4. Análisis de sobre y sub irrigación en el óvalo 22-A

Dentro de los tiempos calculados que se obtuvieron para cada predio en el mes de agosto (mes crítico), se determinó que el usuario con mayor tiempo de riego fue el usuario (1) con 47.43 h y con menor tiempo fue el usuario (5) con 8.42 h (Tabla 12). El cálculo de los tiempos de riego según las necesidades hídricas de los cultivos permitió determinar la existencia de exceso o déficit en la asignación del tiempo de riego, el 40% de usuarios presentaron sobre irrigación (exceso) y el 60% sub irrigación (déficit).

Tabla 12. Tiempos de riego para el mes más crítico.

N°	Usuario	Tiempo Junta (h)	Tiempo Agosto (h)	Condición
1	Fernández Bucheli Jorge Fernando	59	47.43	Exceso
2	Manotoa Alvarado Edith Alicia	12	12.52	Déficit
3	Fernández Robert Henry	12	10.29	Exceso
4	Navas Moya Amanda	18	12.50	Exceso
5	Rodríguez Ojeda Fernando Edgardo	12	8.42	Exceso
6	Carranco Ron Luis Eduardo	10	11.22	Déficit
7	Flores Miranda Vicente Javier	8	9.32	Déficit
8	Flores Recinos Josué David	6	11.40	Déficit
9	Rojas Pazmiño Rosana y otros	27	55.57	Déficit
10	Proaño Martha	13	26.45	Déficit

*Tiempo Junta: Tiempo de riego asignado por la Junta.

*Tiempo Agosto: Tiempo de riego calculado para el mes más crítico.

En el campo se pudo constatar que el caudal derivado para los últimos usuarios era bajo, el usuario (8) manifestó no recibir el caudal y tiempo necesario para cubrir las necesidades hídricas de su predio en la época seca. Lo cual incumple con el literal “d” del artículo 11 del Estatuto y Reglamento de Operación y Mantenimiento de la Junta de Riego, que indica que *“el usuario debe recibir el servicio de riego en la calidad, caudales y horarios establecidos por la JRT”*, quebrantando el derecho de referencia que tiene el usuario. Mientras que, los usuarios que poseen exceso y cierta proximidad al tiempo asignado por la Junta no presentaron queja alguna sobre el servicio.

Como se puede observar en la figura 19, el tiempo de riego asignado por la Junta de Regantes se mantiene constante para todo el año, mientras que el tiempo de riego calculado indica que existen picos donde se va a necesitar mayor y menor cantidad de agua, en el caso puntual del usuario (1) se determinó que mantiene en todo el año exceso de agua, según la comparación del tiempo asignado por la Junta versus el tiempo calculado, se puede apreciar que los meses que más necesita agua son entre junio y septiembre, el mes con mayor demanda es agosto y con menor demanda abril y octubre.

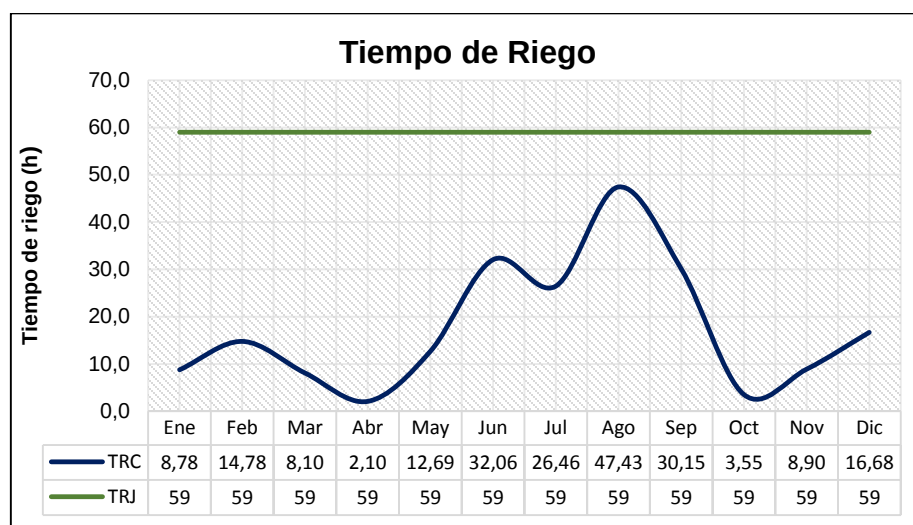


Figura 19. Tiempo de riego calculado vs tiempo de riego asignado por la Junta para el usuario (1).

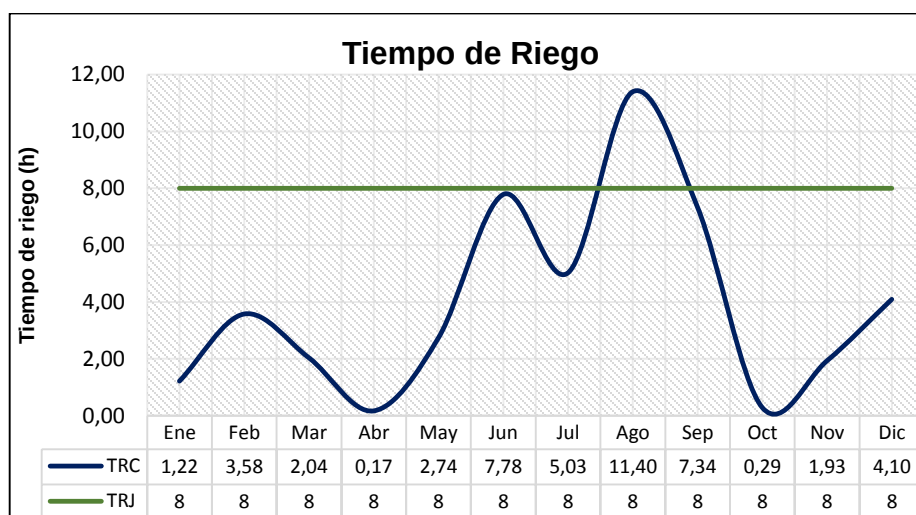


Figura 20. Tiempo de riego calculado vs tiempo de riego asignado por la Junta para el usuario (8).

En la figura 20, se observa que, el tiempo asignado por la Junta se mantiene fijo en todo el año, mientras que el tiempo de riego calculado presenta una variación según el balance hídrico estudiado para todo el año, para el caso del usuario (8) la comparación de estas dos variables indicó que existe un déficit hídrico para el mes de agosto y los meses con menor demanda son abril y octubre.

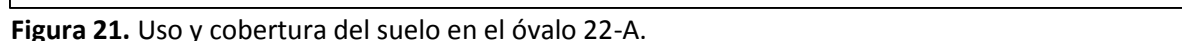
En los casos observados, se puede determinar que el tiempo asignado por la Junta no está actualizado con base en las necesidades hídricas del cultivo y al área regable. Existe un tiempo mensual de entrega fijo para todo el año, originando un desbalance en el suministro del agua en la parcela, en algunos casos como el del usuario (1) existe sobre irrigación y como en el usuario (8) sub irrigación para el mes crítico (agosto). Como ya se explicó, esto se debe a no tomar en cuenta las necesidades hídricas, pero también influyen factores como la operación al momento de repartir el tiempo, proporcionando una baja distribución, y el mantenimiento de la red de canales de conducción.

La tabla 13, presenta el cálculo del tiempo de riego para cada usuario durante todo el año, se puede apreciar que en los meses de mayor demanda hídrica (junio, julio, agosto y septiembre), los últimos usuarios presentan un déficit de agua de riego, sin embargo, la mayor parte del tiempo presentan un exceso, lo cual tampoco es bueno para los cultivos y para la distribución equitativa de todo el sistema, este exceso puede servir para suministrar agua a óvalos que tengan déficit en otros sectores aguas abajo.

Tabla 13. Tiempo de riego calculado para todos los meses.

Usuario	Tiempo de riego mensual calculado (H)												TJ (H)
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1	1.2	2.8	1.2	0.3	1.8	6.9	5.2	10.3	6.4	0.6	0.9	3.3	12
2	8.8	14.8	8.1	2.1	12.7	32.1	26.5	47.4	30.1	3.6	8.9	16.7	59
3	2.7	4.0	2.1	0.7	3.6	8.7	7.8	12.9	8.1	1.2	2.5	4.5	12
4	11.6	7.2	2.4	1.1	3.9	8.1	10.9	12.5	7.4	2.1	4.2	9.2	18
5	1.4	2.6	1.4	0.3	2.2	5.7	4.5	8.4	5.4	0.5	1.5	3.0	12
6	2.7	3.7	2.1	0.9	3.3	7.6	6.9	11.2	7.2	1.4	2.4	4.1	10
7	1.06	2.91	1.64	0.15	2.26	6.35	4.21	9.32	5.98	0.27	1.59	3.33	8
8	1.2	3.6	2.0	0.2	2.7	7.8	5.0	11.4	7.3	0.3	1.9	4.1	6
9	38.3	27.0	8.7	4.6	16.9	37.0	40.1	55.6	34.6	7.9	17.8	36.1	27
10	8.29	8.14	4.08	2.33	8.26	17.76	20.03	26.75	16.59	4.02	5.70	8.99	13

*TJ: Tiempo asignado por la Junta.



5. CONCLUSIONES

Lo expuesto a lo largo del presente estudio permite arribar a las siguientes conclusiones:

Las eficiencias de conducción en las tres secciones del canal secundario se categorizaron como eficiencias excelentes; sin embargo, se observó la presencia de sedimentos, piedras, malezas y basura en el canal, lo cual podría originar desbordamientos. La pérdida de caudal en el canal se da por infiltración en las paredes, percolación y evaporación directa. En la parte socio-organizativa, se presentó un solo canalero para todo el ramal, por lo cual no existe un buen proceso de mantenimiento.

La eficiencia de conducción determinada en el canal terciario del óvalo 22-A se categorizó como buena, la eficiencia de distribución fue categorizada como baja y la eficiencia de transporte baja. Los problemas encontrados en el canal terciario son: presencia de sedimentos, piedras, malezas y basura en el canal. La pérdida de caudal se da por infiltración en el cauce, evaporación y filtración a través de las compuertas. En la parte socio-organizativa, a pesar de que existe una participación de los usuarios en mingas y actividades organizadas en el óvalo, la distribución del agua es pobre, debido a que la Junta de Regantes no ha actualizado los turnos y los tiempos de riego, además, el caudal de ingreso en el óvalo es muy bajo para regar por gravedad (surcos).

Los tiempos de riego asignados por la Junta de Regantes son constantes durante el año (caudal y tiempo fijo), mientras que los tiempos de riego calculados varían en función de las necesidades hídricas de los cultivos y del área cultivada, este desfase, ha producido que el 40% de los usuarios presenten sobre irrigación y el 60% sub irrigación, afectando al rendimiento de los cultivos y a los derechos del agua de los usuarios establecidos en el estatuto de la Junta.

6. RECOMENDACIONES

Desde el punto de vista de la infraestructura, para obtener una mejor eficiencia de conducción en el canal secundario, se debe revestir con hormigón para evitar pérdidas por percolación y poder realizar fácilmente los trabajos de limpieza de malezas en el margen del canal y de sedimentos alojados en la base, en la parte organizacional se debe trabajar conscientemente en la operación y mantenimiento, el presidente de la Junta de Regantes, debe exigir a los canaleros un recorrido con un informe diario y semanal de las observaciones más importantes como basura, malezas, contaminantes, lugares propensos a desbordar agua por la altura de sedimentos y usuarios ilegales. También se debe dar un correcto manejo a las infraestructuras realizando mantenimientos mensuales de compuertas, desarenadores, tuberías y herramientas de trabajo.

Para una mejor distribución del agua de riego a los usuarios, se debe utilizar el método de distribución proporcional, incluyendo las necesidades hídricas de los cultivos y el área regable de cada predio, para satisfacer a cada usuario, se debe incorporar compuertas desplegadas para que cuando un usuario este ocupando su turno y tiempo, los demás tengan cerrada sus compuertas. La operación debe estar coordinada por la presidenta de la unidad terciaria y por cada usuario que vaya a recibir su turno, el mantenimiento se debe realizar mensualmente y consta de engrasado de compuertas, reparación de revestimiento deteriorado y la construcción de tramos de canal terciario que faltantes.

Se debe fortalecer a la Junta de Regantes a través de procesos de capacitación en las áreas de: administración, operación y mantenimiento. Además, actualizar anualmente los tiempos y turnos de riego en función de información actualizada. La finalidad de este fortalecimiento es solventar las problemáticas actuales y futuras como la baja operación y mantenimiento que se evidenció y el crecimiento del área urbana por donde pasan los canales de riego. Esto garantizará que se cumpla con el estatuto y con los derechos del usuario.

7. RESUMEN

El Sistema de Riego Tumbaco se encuentra localizado en la provincia de Pichincha, en el cantón Quito, parroquia Tumbaco, tiene aproximadamente setenta y dos años de diseño y construcción, lo conforman siete ramales, uno de ellos es el ramal “Chichipata”, al mismo que se le atribuye el mayor número de usuarios con 1 157.0 distribuidos en 43 óvalos o unidades terciarias, la parte administrativa está ejecutada por el Directorio de la Junta y la parte técnica social está encargada al presidente y canaleros.

El presente estudio se realizó en el ramal Chichipata, ubicado paralelamente entre los ríos Chiche y San Pedro y comprende los sectores de La Tola, El Arenal, La Esperanza, Las Acacias y San José de Collaquí, está situado a una altitud comprendida entre 2350 y 2450 m.s.n.m.

Esta investigación se enfocó en la determinación de la eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario, incluyendo aspectos socio-organizativos, eficiencia de conducción, distribución y transporte del óvalo 22-A, incluyendo aspectos socio-organizativos y la existencia de sobre y sub irrigación en el óvalo.

Para el cálculo de la eficiencia de conducción del canal secundario se procedió a tomar tres secciones: al inicio, mitad y final del canal donde no exista derivación a unidades terciarias y que tenga una longitud mínima de 50 o 100 m, se georreferenció cada punto de monitoreo y se registró información sobre: tipo de canal, malezas, material flotante, obras hidráulicas y otras; para la medición de la cantidad de agua que circula se utilizó el aforador Parshall de 9 pulgadas de ancho de garganta, se realizaron 3 mediciones del caudal en cada estación. Para la parte socio-organizacional se establecieron entrevistas y recorridos en campo.

La eficiencia de distribución en el óvalo se determinó considerando los caudales de la entrada a la unidad terciaria y los caudales a la entrada de cada usuario, cada punto de monitoreo se procedió a georreferenciar, la medición de caudal se la realizó mediante un vertedero rectangular sin contracción con una cresta de 0.19 m y una altura de cresta de 0.10 m, para el cálculo del caudal se utilizó la fórmula de Francis para vertederos rectangulares sin contracción, el cálculo de la eficiencia de distribución se lo realizó mediante la fórmula de uniformidad de distribución de Christiansen. Para la parte socio-organizacional se establecieron entrevistas y recorridos en campo.

Para la determinación de las necesidades hídricas se tomó información de la estación meteorológica “La Tola”, se procesó la información climatológica mensual que incluye: horas luz, precipitaciones, humedad y temperatura, mediante estas variables se determinó ETo y Pe para la zona de Tumbaco, el Kc utilizado se determinó mediante la metodología de la FAO (boletín No. 56). La información del usuario que se utilizó

fue: tipo de cultivo, área del cultivo, fechas de siembra, textura del suelo, frecuencia de riego y sistema de riego. Una vez obtenidas las necesidades hídricas en volumen se procedió a calcular el tiempo de riego en función al caudal que se calculó en la entrada de cada predio.

La existencia de sobre y sub irrigación se determinó utilizando los tiempos de riego mensuales calculados y se los comparó con los tiempos asignados por la Junta de Regantes, si el tiempo de riego calculado es mayor al asignado por la Junta existe sub irrigación, es decir que no cubren las necesidades hídricas de los cultivos, caso contrario existe sobre irrigación.

Los resultados fueron los siguientes: la eficiencia de conducción en las tres secciones del canal secundario inicio, mitad y final fue del 92.04%, 98.55% y 98.62%, respectivamente. Las eficiencias de conducción, distribución y transporte en el óvalo fueron 76.67%, 53.05% y 39.61%. Dentro de los tiempos calculados que se obtuvieron para cada predio en el mes de agosto, se determinó que el usuario (1) presentó el mayor tiempo al usuario con 47.43 horas y el usuario (5) el menor tiempo con 8.42 horas. El cálculo de los tiempos de riego según las necesidades hídricas de los cultivos permitió determinar la existencia de un 40% de usuarios con sobre irrigación y un 60% de usuarios con sub irrigación.

Del análisis de los resultados y discusión se concluye que: aunque las eficiencias de conducción en el canal secundario sean excelentes, se evidenció que el estado actual del canal no presentó buenas condiciones físicas de funcionamiento. Independientemente de las eficiencias obtenidas, también se pudo determinar una diferencia de caudal entre los puntos de cada sección, donde la primera, segunda y tercera sección presentaron pérdidas de 19.79 l s^{-1} , 1.56 l s^{-1} y 0.56 l s^{-1} , respectivamente. Indicando que el canal abierto posee pérdidas de flujo mayores a los revestidos. Se determinó que el caudal que ingresa al óvalo no es el adecuado para recorrer el canal terciario influyendo en la eficiencia de distribución del óvalo. Existe un mal manejo operativo y de mantenimiento en todo el canal y en el óvalo, la organización necesita un fortalecimiento en general para solucionar problemas futuros.

8. REFERENCIAS

- Allen, R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO :Estudios FAO Riego y Drenaje 56 (FAO, Vol. 56). Roma. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>
- Apollin, F., & Eberhart, C. (1998). *Metodologías de análisis y diagnóstico de sistemas de riego campesino*. Quito - Ecuador: CAMAREN. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=EeWGAAAAIAAJ>
- Arango, J. (2002). Las Obras de Conducción y Distribución en un Distrito de Adecuación de Tierras. Medellín: UNAL- Medellín. Recuperado de http://bdigital.unal.edu.co/4784/1/70064307._2002_1.pdf
- Badillo, M., & Valdera, F. (2009). Manual de buenas prácticas de riego en viñedo, olivar, cítricos y fresa. *Propuestas de WWF Para Un Uso Eficiente Del Agua En La Agricultura*. Madrid: WWF España. Recuperado de http://awsassets.wwf.es/downloads/buenas_practicas_de_riego.pdf
- Balloffet, A., Gotelli, L. M., & Meoli, G. A. (1952). *Hidráulica*. Buenos Aires-Argentina: Ediar. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=CsfkvQEACAAJ>
- Beccar, L., Boelens, R., & Hoogendam, P. (2001). *Derechos de Agua y Acción Colectiva en el Riego Comunitario*. Lima-Perú: IEP Institutos de Estudios Peruanos. Recuperado de <https://www.cepal.org/drni/proyectos/walir/doc/walir19.pdf>
- Blair, E. (1965). *Manual de Riegos Y Avenamiento* (Bogotá-C). Turrialba-Costa Rica: INCORA. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=jd0OAQAIAAJ>
- Boelens, R. (2008). *The Rules of the Game and the Game of the Rules. Normalization and resistance in Andean water control*. Wageningen UR, the Netherlands.
- Boelens, R., & Hoogendam, P. (2002). Gender Dimension of Water Control in Andean irrigation. In *Water Rights and Empowerment* (pp. 75–109). Assen: Van Gorcum.
- Briceño, E., Escobar, R., & Ramírez, S. (2008). *Manual de Capacitación en Operación y Mantenimiento de Pequeñas Centrales Hidráulicas*. Lima-Perú: Soluciones Practicas-ITDG. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=gZDSyUsGfA0C>
- Briceño, M., Álvarez, F., & Barahona, U. (2012). *Manual de Riego y Drenaje, Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central, Carrera de Ciencias y Producción Agropecuaria*. El Zamorano - Honduras.
- Brière, F. G. (2005). *Distribución de Agua Potable y Colecta de Desagües y de Agua de Lluvia*. Montréal: Presses internationales Polytechnique. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=kgXhjH-vZ78C>
- Brouwer, C., Prins, K., & Heibloem, M. (1989). *Irrigation Water Management : Irrigation Scheduling*. Roma - Italia: FAO.
- Cabascango, D. (2010). Estrategias para el fortalecimiento socio-organizativos del ramal “Chichipata” del Sistema de Riego Tumbaco. Quito: Camaren.
- Cadena, V. (2014). *Hablemos de Riego* (1 ed., Vol. 1). Quito-Ecuador: CONGOPE. Recuperado de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Calvache, M. (2015). X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo LA MICROBIOLOGIA DE SUELOS EN EL

- ECUADOR : X Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. *X Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*. Quito-Ecuador: UCE. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/301766196_FERTIRRIEGO_EN_EL_ECUADOR
- Carrazón, J. (2007). *Manual Práctico Para el Diseño de Sistemas de Minirriego*. Tegucigalpa: FAO PESA.
- Cifdaloz, O., Regmi, A., Anderies, J., & Rodríguez, A. (2010). Robustness, Vulnerability and Adaptive Capacity in Small-Scale Social-Ecological Systems: the Pampa Irrigation System in Nepal. *Ecology and Society*, 15, 1–30. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000142&pid=S0122-1450201400020000500013&lng=en
- Claro, F. (1991). *Himat Balance Hidrico (HIMAT)*. Bogotá. Retrieved from http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_papa2016.pdf
- Cleves Leguizamo, J. A., Martínez Bernal, L. F., & Toro C., J. (2016). Los balances hídricos agrícolas en modelos de simulación agroclimáticos. Una revisión analítica. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1), 149–163. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4460>
- CORSINOR. (2001). Estudio Para el Mejoramiento del Sistema Riego en Tumbaco. Quito - Ecuador: Corporación Regional de la Sierra Norte.
- Echeverría, C., Huber, A., & Taberlet, F. (2007). Estudio comparativo de los componentes del balance hídrico en un bosque nativo y una pradera en el sur de Chile. *Bosque*, 28(3), 271–280. <https://doi.org/10.4067/S0717-92002007000300013>
- ESPAC. (2017). Módulo de tecnificación Agropecuaria ESPAC 2017. Quito - Ecuador: INEC.
- Fernández, R., Ávila, R., López, M., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). *Manual del riego para el agricultor: Modulo 1. Fundamentos del riego* (1era edit.). Sevilla: Secretaria General Técnica Servicio de Publicaciones y Divulgaciones.
- Gerbrandy, G., & Hoogendam, P. (1998). *Aguas y acequias: los derechos al agua y la gestión campesina de riego en los Andes bolivianos*. Cochabamba: PEIRAV. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=8JHG4QOv_KYC
- Guzmán, R., Castro, M., Jungwirth, J., & Palenque, W. (2002). *Del proceso de acompañamiento hacia la autogestión de sistemas de riego*. La Paz - Bolivia: PIEB. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=jkpU_e1SgKgC
- GWP-SAMTAC. (2003). La gobernabilidad de la gestión del agua en el Ecuador. Estocolmo: GWP-SAMTAC. Recuperado de https://www.cepal.org/drni/proyectos/samtac/actividades_nacionales/ecuador/1/taller1.pdf
- Hart, R. (1979). *Agroecosistemas conceptos basicos.pdf* (CATIE, Bib). Turrialba: CATIE.
- Heibloem, M. (1986). Irrigation Water Management: Irrigation Water Needs. Rome: FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/s2022e/s2022e00.htm#Contents>
- Hidalgo, J. (2010). *Dinámica de Acumulación de Derechos de Agua y Conflictos: Estudio de Caso de la Acequia Tabacundo, Ecuador*. Wageningen University.
- Hudson, N. W. (1997). *Medición Sobre el Terreno de la Erosión del Suelo y de la Escorrentía*. Amptill - Inglaterra: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=m1DFcx3B0dYC>

- ICID-CIID. (2002). *Multilingual Technical Dictionary on Irrigation and Drainage* (5th editio). Paris: ICID. Recuperado de http://www.icid.org/members_only/icidmtd/display.php?action=search&word=&chapter=2&type=latest&lang=en&references=0
- Iza, A., Chávez, D. B., Saavedra, A. C., Guamán, A. C., & Armijo, M. (2012). *Historia del Riego y Drenaje en el Ecuador*. Quito-Ecuador: ESPE.
- JGUSIRTUM. (2018). *Estatuto y Reglamento de Operación y Mantenimiento de la Junta de Riego Tumbaco*. Tumbaco: JGUSIRTUM.
- Le Goulven, P., Ruf, T., & Sabatier, J.-L. (1991). *Dinámicas de los antiguos sistemas agrarios bajo riego: representaciones sincrónicas y diacrónicas - El ejemplo de Urcuquí en Ecuador*. Quito - Ecuador: ORSTOM - CNEARC.
- Leitón, J. (1985). *Riego Y Drenaje* (1 edi.). San José - Costa Rica: Euned. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=_yuPFwKJ6yWC
- Maldonado, T. (2001). *Manual de Riego Parcelario*. Santiago de Chile: FAO. Recuperado de http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR_cap3.PDF
- Martínez, A. (2004). Necesidades hídricas en Cultivos Hortícolas. *Rev. Horticultura*, 1, 34–41. Recuperado de http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rh177/034_041.pdf
- Medrano, H., Na Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Carbó, M., & Gulías, J. (2007). EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA POR LAS PLANTAS. *Investigaciones Geográficas Cas*, N^o, 43, 63–84.
- Mejía, E., Palacios, E., Exebio, A., & Santos, A. (2002). Operative Problems in Water Management in Irrigation Districts. *Tierra*, 20, 217–225. Recuperado de <https://chapingo.mx/terra/contenido/20/2/art217-225.pdf>
- Minchola, E., & Radas, N. (2009). *Determinación de las Eficiencias de Conducción, Distribución y Operación en el Sistema de Riego del Canal Lateral 5. Valle Chao*. Universidad Nacional de Trujillo.
- Noordholland, J., Boelens, R., Heredia, L., Gerbrandy, G., & Nuñez, P. (1999). *Hacia una visión integral del riego Andino*. Quito-Ecuador: CAMAREN.
- Nuñez, A. (2015). *Manual del Cálculo de Eficiencia para Sistemas de Riego*. (M. de A. y Riego, Ed.). Lima-Perú. Recuperado de http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- Nuñez, A., Rosales, Á., Caro, R., & Gamarra, L. de M. (2015). *Manual N ° 3. Mantenimiento de Infraestructura de Sistemas de Riego* (2da edit.). Lima-Perú: MINAGRI - DGIAR. Recuperado de <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual3.pdf>
- Ordoñez, J. (2011). *Balance Hídrico Superficial. Global Water Partnership South America* (Primera). Lima-Perú: SGL.
- Ortiz, R. (2011). *Sistema de riego podocarpus yangana requerimientos de riego y planificación del sistema*. Loja -Ecuador: s.n.
- Ortiz, R. (2017). *Necesidades Hídricas de los Cultivos*. Quito-Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Ortiz, R., Tamayo, C., Chile, M., & Méndez, A. (2018). Coeficiente del tanque evaporímetro Clase A para estimar la evapotranspiración de referencia para el valle de Tumbaco. *Siembra*, 5(1), 16–25.

- Pedroza, E. (2001). *Canal Parshall*. México D.F. - México: CNA - IMTA. Recuperado de http://infota.siss.cl/concesiones/empresas/AguasChañar/10_Estudio_Intercambio_Empresa/03_Anexos/Anexo_Estudio_OyM/Anexo_13/Instrumentación_Flujometro/Canaletas_Parshall/canal_parshall.pdf
- Pereira, L. (2010). El riego y sus tecnologías. Albacete: Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM). Recuperado de crea.uclm.es/crea/descargas/_files/El_Riego_y_sus_Tecnologias.pdf
- Pérez, A., Botella, A., Muñoz, A., Olivella, R., Olmedillas, J., & Rodríguez, J. (2011). *Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática*. Barcelona: Editorial UOC, S.L.
- Poirée, M., & Ollier, C. (1977). *El Regadío: redes, teoría, técnica y economía de los riegos* (4 edit.). Barcelona: Editores Técnicos Asociados. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=KgNZZa1rhCAC>
- PSI. (2004). Instructivo técnico: Determinación de la eficiencia de Conducción y Distribución. Lima-Perú: Ministerio de Agricultura. Recuperado de http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_manuales_determinacion_eficiencias.pdf
- Rocha, A. (2007). *Hidraulica De Tuberias Y Canales. Susferrinmaquinas.Com.Ar*. Lima: FIC-UNI.
- Rodriguez, A. (2009). Políticas para el uso sustentable del agua y la prestación eficiente de servicios vinculados a ella. Santiago de Chile: CEPAL. Recuperado de https://www.cepal.org/ilpes/noticias/paginas/1/35691/adrian_rodriguez_CCAgr.pdf
- Sánchez, J., Zapatta, A., Hahjaj, H., & Ullauri, M. (2003). *Visión Integral y Análisis de Sistemas de Riego*. Quito-Ecuador: CAMAREN CESA.
- SAR. (2001). Metodologías de evaluación de sistemas de riego. Andalucía: Consejería de Agricultura y Pesca.
- Snellen, W. B. (1997). *Operación y mantenimiento de los sistemas de riego*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=D31WwHCju2AC>
- Sotelo, G. (2002). *Hidráulica General. Vol 1. Fundamentos*. México D.F.: LIMUSA Editores. Recuperado de http://www.hidrocapital.com.ve/intranet-2/files/biblioteca/pdf/LIBROS_DIGITALIZADOS/Hidráulica_General_vol_1- G. Sotelo.pdf
- Spano, D., Snyder, R. L., Sirca, C., & Duce, P. (2009). ECOWAT—A model for ecosystem evapotranspiration estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(10), 1584–1596. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2009.04.011>
- Tamayo, C. (2015). Análisis de las Economías Campesinas en la Acequia Mocha-Huachi, Provincia de Tungurahua. Universidad Central del Ecuador.
- Trueba, S. (1975). *Hidráulica*. (E. C. S.A., Ed.) (13a Edición). México D.F.
- Tullot, I. F. (2000). *Climatología de España y Portugal*. Salamanca: Ediciones Universidad de Salamanca. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=Uf46Uka-ViAC>
- Valverde, J. (2007). *RIEGO Y DRENAJE* (2da reimp.). San José - Costa Rica: EUNED. Recuperado de <https://books.google.com.ec/books?id=Chy5vADO63AC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q>

&f=false

Villavicencio, A., & Villablanca, A. (2010). Determinación del coeficiente de uniformidad riego. Santiago de Chile: INIA-URURI.

Zhang, L., Walker, G., & Fleming, M. (2002). *Surface water balance for recharge estimation.pdf* (CSIRO). Melbourne: CSIRO. Recuperado de https://books.google.com.ec/books?id=kpOL3o4tT5cC&printsec=frontcover&dq=surface+water+balance+for+recharge+estimation+-&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiJ-OL-_cTdAhWR61MKHTUPAoYQ6AEIJjAA#v=onepage&q&f=false

VOCABULARIO TÉCNICO

COMISIÓN INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE

Acometida: montaje o instalación por la cual circula una fracción de agua desde un canal principal.

Administración: es la organización que se necesita para hacer funcionar a un sistema de riego, con la finalidad de sacar todo el provecho posible. Integra actividades de mantenimiento y construcción o reparación de infraestructura, y organiza la operación del sistema de riego.

Canal de entrega: trayecto del agua, granja lateral o canal de campo.

Canal secundario: canal que recepta el suministro del canal principal y suministra de agua a canales terciarios a lo largo de su trayecto.

Canales terciarios: canales que receptan suministros de canales secundarios y suministran agua a unidades terciarias o parcelas de usuarios.

Canal uniforme: canal cuyo trayecto se mantiene y no cambia a lo largo de su longitud, se encuentra en línea recta y tiene un caudal constante.

Coefficiente de uniformidad de Christiansen: método para cuantificar la uniformidad de aplicación del agua por cualquier método de riego, se la denomina la relación de la media de las desviaciones absolutas de la media general.

Compuerta: Lámina de madera o de hierro, que se desliza con el objetivo de graduar o cortar el paso del agua desde un canal o una fuente de agua.

Conducción: transporte de un fluido de un lugar a otro, se lo realiza por medio de una red de canales o conductos.

Diseño: Trazar, dibujar una obra o figura geométrica.

Derecho al agua: se lo define como la cantidad de agua por año para cada usuario dependiendo del área que este posea; por concesión se la define como el permiso, título, apropiación o reclamo del uso del agua para fines beneficiosos y se denomina al agua como prioridad para los agricultores.

Eficiencia del canal: es la cantidad de agua que ingresa a un canal o estructura de transporte de riego.

Eficiencia de distribución: es la proporción de agua receptada en la entrada al campo con relación al agua perdida al final de la red de distribución.

Eficiencia de riego: es la relación entre el volumen de agua que ingresa a la red de canales con el volumen de agua entregada en campo, existen pérdidas que hacen que este ingreso sea menor al momento de llegar a la parcela.

Eficiencia de riego, eficiencia de riego en parcela o eficiencia de distribución: es la cantidad porcentual de agua de riego que consumen los cultivos de una parcela agrícola; cuando calcula en la entrada principal del usuario, se denomina “eficiencia de riego o de entrega”; cuando se mide en campo o parcela se nombra como “eficiencia de riego en campo o parcela” y cuando se mide en la fuente de suministro se denomina “eficiencia de transporte”.

Eficiencia de transporte: es la relación entre el flujo de salida total del suministro y flujo de entrada total al suministro.

Estructuras de entrega: toda aquella estructura como: canales, tuberías y sus obras correspondientes, tales como: tomas, distribuidores, estructuras de descarga, que garantizan la proporción del agua a la parcela del usuario desde el canal principal.

Filtración: movimiento del agua desde la superficie del suelo hasta las capas más profundas.

Lámina de riego: capa de agua con la que un área determinada de suelo quedaría húmeda si se aplicara riego asistido.

Mantenimiento: es el proceso organizado para mantener el equipo de trabajo o estructuras de tal manera que estas sirvan y cumplan su propósito. En un sistema de riego tiene se la conoce como la conservación y la prolongación de la vida útil de las diferentes estructuras que derivan y conducen el agua, en un sistema de riego estas actividades están practicadas por la organización de usuarios.

Obra hidráulica: construcción que forma parte de un sistema de riego, se construye con materiales como hormigón, tierra,

Operación: la operación es el proceso organizado para que un equipo, una planta de tratamiento o un sistema de riego se realicen sus funciones asignadas. Se la define como la labor que realizan los regantes en las diferentes estructuras de riego con el objeto de realizar una buena distribución a cada uno de los usuarios.

Percolación: es la cantidad de agua perdida por filtración a través de los poros de la tierra o formaciones geológicas, se la define como la cantidad de agua que pasa por debajo de las raíces de un cultivo.

Permeabilidad: capacidad que tiene el suelo para dejar pasar un flujo de agua, se utiliza para caracterizar el paso del agua por el suelo y la aireación.

Pérdidas de entrega: pérdida por falta de eficiencia en la gestión y roturas en los conductos.

Ramal: Subdivisión del canal principal del cual son abastecidas las unidades terciarias.

Recurso hídrico: cantidad de agua disponible que puede ser utilizada dentro de los límites sociales, técnicos, políticos y económicos.

Textura del suelo: proporción de las varias fracciones de partículas de suelo y agrupadas por su dimensión.

Toma del regante: embocadura o abertura por la cual pasa el agua de riego hacia el consumidor, en la misma se puede colocar válvulas u otros dispositivos de control de ingreso de agua.

Salida o toma terciaria: es un regulador de descarga en un canal secundario que deriva agua a una unidad terciaria.

Sobre – irrigación: aplicación de riego excesiva en relación al requisito real del cultivo en la época establecida.

Sub – irrigación: aplicación de riego insuficiente para satisfacer el requisito real del cultivo en la época establecida.

Unidad de riego u óvalo: unidad espacial de partición entre distintos usuarios, suministrada por un canal secundario o terciario.

9. ANEXOS

Anexo 1. Cartografía.

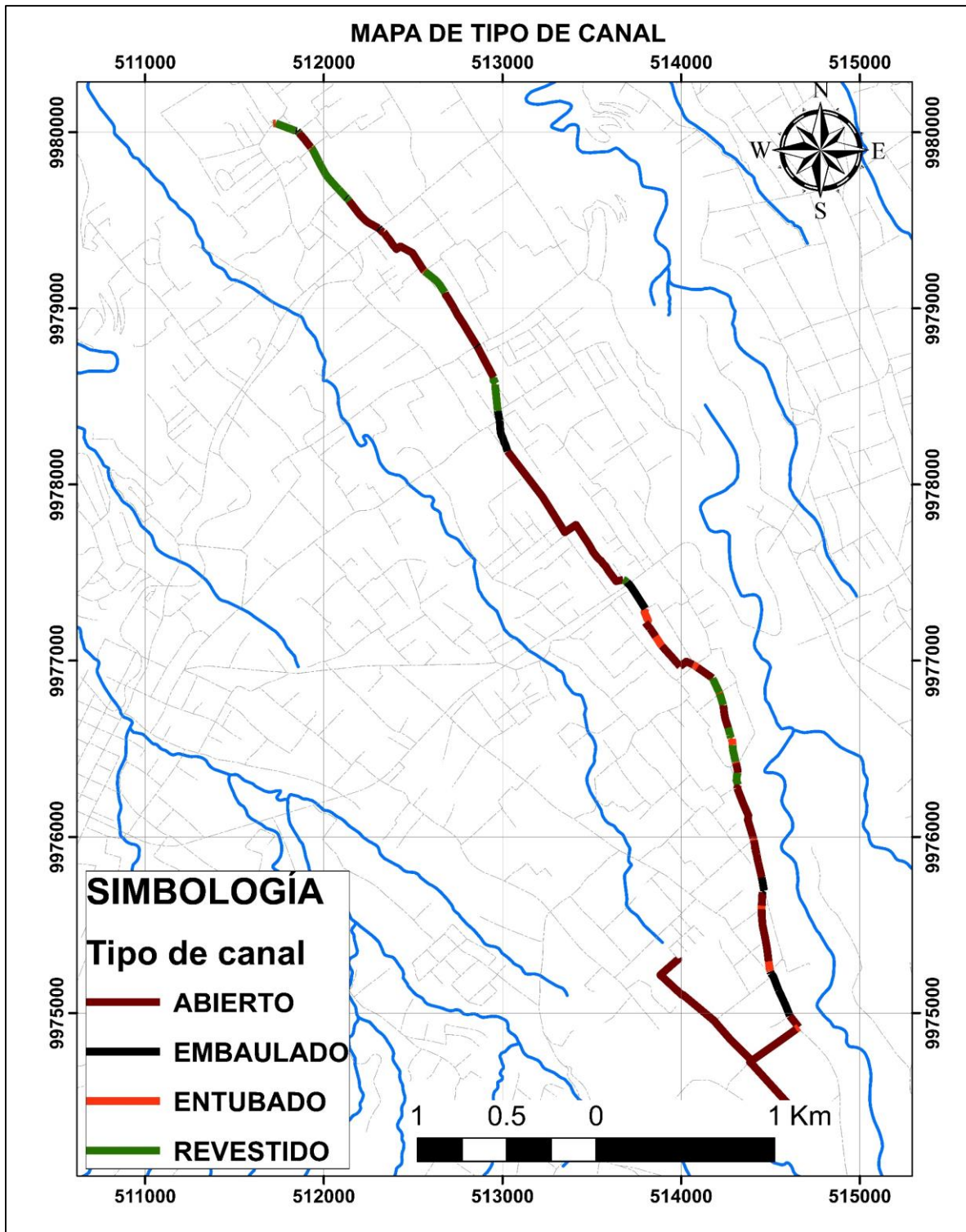


Figura 22. Mapa de tipo de canales.

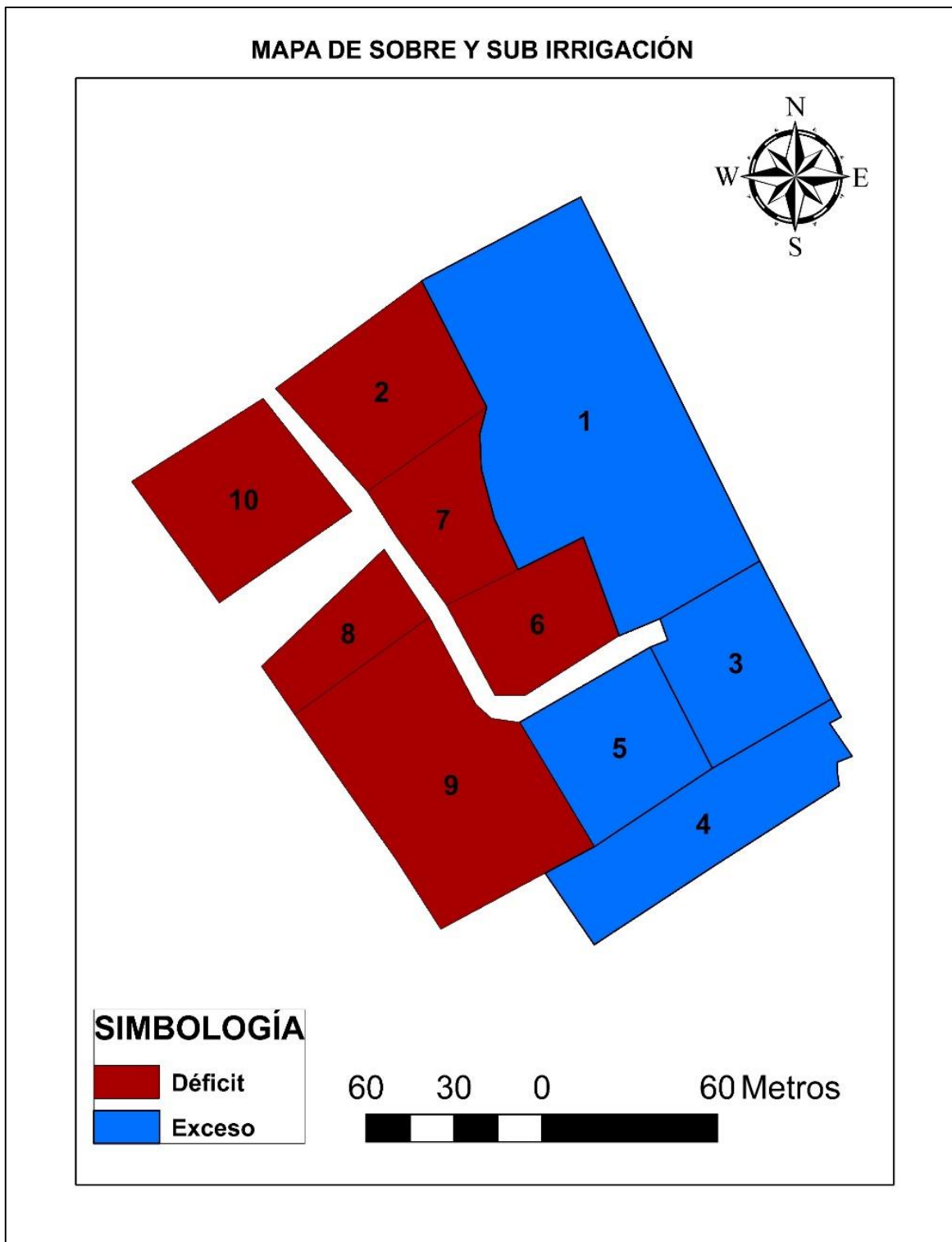


Figura 23. Mapa de sobre y sub irrigación en el óvalo 22-A.

Anexo 2. Registro de datos para el levantamiento de información.

Tabla 14. Información de la eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario.

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
INGENIERIA AGRONÓMICA**



SECCIÓN	
PRIMER PUNTO	
COORDENADAS LATITUD: _____ LONGITUD: _____	UTM X: _____ Y: _____ ZONA: _____ ALTURA: _____
MÉTODO	
CANAL PARSHALL $Q = 0.013762 Ha^{1.53}$	Ha= CARGA HIDRAULICA (mm) Q= CAUDAL (l s ⁻¹)
REPETICIONES (CARGA HIDRÁULICA)	HORA
1.-	
2.-	
3.-	

OBSERVACIONES

1.- TPO DE CANAL: REVESTIDO ____ NO REVESTIDO ____

2.- PASTO: PRESENCIA ____ AUSENCIA ____

3.- MATERIALES FLOTANTES (Especificar qué tipo de material es):

.....
.....

4.- OBRAS CIVILES (Especificar qué tipo de obra):

.....
.....

5.- NOTAS

.....
.....
.....
.....

Tabla 15. Registro de datos para el levantamiento de información de la eficiencia de distribución.

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
INGENIERIA AGRONÓMICA**



Usuario	Calle	Riego	Estatus	Ha (cm)	Fecha	Coordenadas	
						x	y
Entrada al óvalo							
Navas Moya Amanda							
Fernández Buchelli Jorge							
Manotoa Alvarado Edith							
Carranco Ron Luis							
Flores Miranda Vicente							
Fernández Robert Henry							
Rodríguez Ojeda Fernando							
Rojas Pazmiño Rosana							
Flores Recinos David							
Proaño Martha							

Tabla 16. Registro de datos para el levantamiento de información de sobre y sub irrigación.

**UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
INGENIERIA AGRONÓMICA**



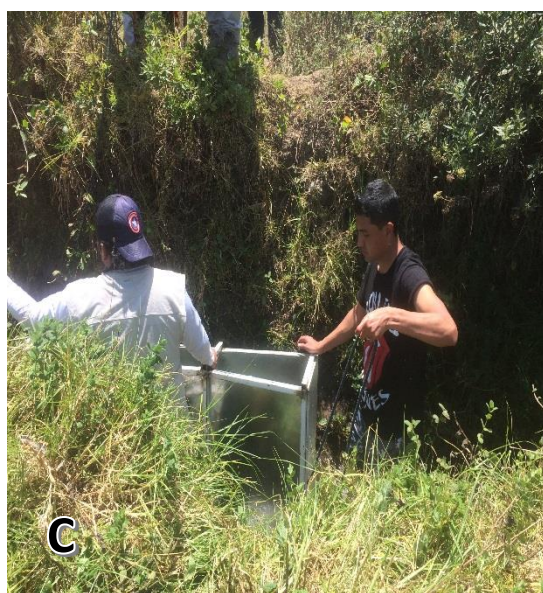
Fecha:

Óvalo:

Usuario	Cultivo	Tipo de cultivo	Fecha de siembra	Fecha de cosecha	Área regable (m ²)	Área total (m ²)
1	1					
1	2					
1	3					
2	1					
2	2					
2	3					
3	1					
3	2					
3	3					
4	1					
4	2					
4	3					
5	1					
5	2					
5	3					
6	1					
6	2					
6	3					
7	1					
7	2					
7	3					
8	1					
8	2					
8	3					
9	1					
9	2					
9	3					
10	1					
10	2					
10	3					

Anexo 3. Fotografías del procedimiento de estudio en el ramal "Chichipata".

Sección 1 Punto 1 sector Arenal



Fotografía 1. Instalación y medición de caudal en la S1P1 sector "Arenal": a) Ubicación de punto de monitoreo, b) limpieza del punto en el cual se ubicará el aforador Parshall, c) Instalación y medición con el aforador Parshall, d) grupo de registro de datos.

Sección 1 Punto 2 sector Arenal



Fotografía 2. Medición de caudal en el S1P2 sector “Arenal”: a) limpieza del punto de medición, b) instalación y medición con el aforador Parshall, c) toma posterior del aforador Parshall, d) grupo de registro de datos.

Sección 2 Punto 1 sector La Esperanza



(c)

Fotografía 3. Medición de caudal en la S2P1 en el sector “La Esperanza”: a) óvalo número 18, sector céntrico, b) señor canalero encargado de ayudarnos con el acceso al canal secundario, c) instalación y medición con el aforador Parshall, d) grupo de registro de datos.

Sección 2 Punto 2 sector La Esperanza



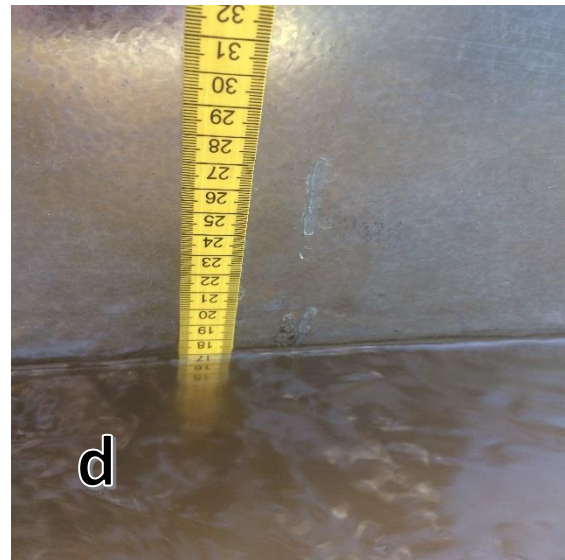
Fotografía 4. Medición de caudal en la S2P2 en el sector “La Esperanza”: a) grupo de instalación trasladando el aforador Parshall, b) instalación del aforador Parshall, c) medición con el aforador Parshall, d) grupo de registro de datos.

Sección 3 Punto 1 sector Collaquí



Fotografía 5. Medición de caudal en la S3P1 sector “Collaquí”: a) Instalación del aforador Parshall, b) limpieza de sedimentos alojados en la base del canal, c) medición con el aforador Parshall, d) registro de datos.

Sección 3 Punto 2 sector Collaquí



Fotografía 6. Medición de caudal en la S3P2 sector “Collaquí”: a) largo del canal revestido, b) instalación del aforador Parshall, c) medición con el aforador Parshall, d) registro de datos.

Observaciones



Fotografía 7. Observaciones en el trayecto del canal secundario: a) presencias de algas en la base del canal a la altura del sector “Arenal”, b) basura encontrada dentro y fuera del canal, c) restos de construcción como cemento, hierro y basura a la altura del sector “La Esperanza”, d) tubería que reparte agua a la zona estudiada, se puede observar la presencia de maleza y algas.

Medición de caudal en la entrada al óvalo 22-A



Fotografía 8. Medición de caudal en la entrada al óvalo 22-A: a) identificación de la entrada al óvalo 22-A, b) limpieza de residuos sólidos, c) colocación del vertedero rectangular, d) toma de datos.

Medición de caudal en la entrada a usuarios



Fotografía 9. Medición de caudales en la entrada de cada usuario.

Medición de caudal en la entrada a usuarios



Fotografía 10. Medición de caudales en la entrada de cada usuario.

Anexo 4. Tablas de medición de caudales

Tabla 17. Base de datos de medición de cargas hidráulicas en el canal secundario.

Repetición	Ramal	Sector	Sección	Punto	Código	Hora	Ha (cm)	Media
1	Chichipata	Arenal	1	1	S1P1	11:38	59.0	58.83
2	Chichipata	Arenal	1	1	S1P1	11:42	59.5	
3	Chichipata	Arenal	1	1	S1P1	11:47	58.0	
1	Chichipata	Arenal	1	2	S1P2	12:45	55.0	55.75
2	Chichipata	Arenal	1	2	S1P2	12:48	56.0	
3	Chichipata	Arenal	1	2	S1P2	12:55	56.0	
4	Chichipata	Arenal	1	2	S1P2	13:02	56.0	
1	Chichipata	La Esperanza	2	1	S2P1	11:38	34.0	35.00
2	Chichipata	La Esperanza	2	1	S2P1	11:42	36.0	
3	Chichipata	La Esperanza	2	1	S2P1	11:47	35.0	
1	Chichipata	La Esperanza	2	2	S2P2	14:53	34.0	34.67
2	Chichipata	La Esperanza	2	2	S2P2	15:01	36.0	
3	Chichipata	La Esperanza	2	2	S2P2	15:04	34.0	
1	Chichipata	Collaquí	3	1	S3P1	15:34	19.5	18.50
2	Chichipata	Collaquí	3	1	S3P1	15:38	19.0	
3	Chichipata	Collaquí	3	1	S3P1	15:45	17.0	
1	Chichipata	Collaquí	3	2	S3P2	16:21	19.0	18.33
2	Chichipata	Collaquí	3	2	S3P2	16:27	19.0	
3	Chichipata	Collaquí	3	2	S3P2	16:32	17.0	

Tabla 18. Coordenadas y alturas de los puntos de monitoreo en el canal secundario.

ID	Longitud	Latitud	Altura (m)
S1P1	792306.771	9976993.533	2448
S1P2	792284.490	9976975.28	2441.7
S2P1	791132.062	9978789.146	2387
S2P2	791078.608	9978875.642	2383.1
S3P1	790116.358	9980004.370	2375.3
S3P2	790012.029	9980046.984	2373.4

*ID= Sección y punto de monitoreo

Tabla 19. Caudales calculados en los puntos de monitoreo del canal secundario.

N°	Sección y puntos de monitoreo	Ha (m)	Caudal m ³ s ⁻¹	Caudal l s ⁻¹
1	S1P1	0.59	0.24	237.62
2	S1P2	0.56	0.22	218.83
3	S2P1	0.35	0.11	107.34
4	S2P2	0.35	0.11	105.78
5	S3P1	0.19	0.04	40.47
6	S3P2	0.18	0.04	39.91

Tabla 20. Caudales calculados en la entrada al óvalo 22-A y usuarios.

N°	Usuario	Ha (cm)	Caudal (l s ⁻¹)
1	ÓVALO	14.51	3.35
2	Fernández Bucheli Jorge Fernando	14.50	3.35
3	Manotoa Alvarado Edith Alicia	14.49	3.33
4	Fernández Robert Henry	14.49	3.33
5	Navas Moya Amanda	14.31	3.13
6	Rodríguez Ojeda Fernando Edgardo	14.30	3.12
7	Carranco Ron Luis Eduardo	13.50	2.29
8	Flores Miranda Vicente Javier	13.50	2.29
9	Flores Recinos Josué David	13.00	1.82
10	Rojas Pazmiño Rosana y otros	12.50	1.38
11	Proaño Martha	12.50	1.38

Anexo 5. Componentes del balance hídrico.

Tabla 21. Datos de la estación climatológica "La Tola", series mensuales desde 1986-2013.

Variante	Mínimo	Máximo	Promedio
Humedad relativa (%)	57.0	86.0	74.6
Velocidad viento (m s ⁻¹)	0.1	13.9	2.7
Temperatura máx. (°C)	22.5	29.5	25.8
Temperatura mín. (°C)	1.6	9.2	5.9
Horas luz día	2.8	9.2	5.7
Evaporación mensual (mm)	69.3	293.6	134.0
Precipitación anual (mm)	553.3	1179.8	853.7

Fuente: (Ortiz *et al.*, 2018)

Tabla 22. Cultivo, área cultivada y fechas de siembra y cosecha.

N°	Cultivo	Área cultivada (m ²)	Porcentaje (%)	Fecha siembra	Fecha cosecha
1	Pasto	10337.17	46.21	-	-
2	Maíz	4303.93	19.24	octubre	marzo
3	Ornamental	3659.25	16.36	-	-
4	Cítricos	2613.2	11.68	-	-
5	Papa	680.67	3.04	noviembre	abril
6	Aguacate	521.64	2.33	-	-
7	Remolacha	153.79	0.69	octubre	febrero
8	Tomate Riñón	57.8	0.26	octubre	febrero
9	Tomate Árbol	41.14	0.18	-	-

(-) *cultivo perenne

Tabla 23. Eficiencia de aplicación para cada sistema de riego.

Sistema de riego	Efa (%)
Goteo	90-95
Micro aspersión	80-85
Aspersión	70-80
Gravedad	35-45

Fuente: Brouwer *et al.*, (1989)

Anexo 6. Entrevistas.

Tabla 24. Entrevistados y fechas de entrevista.

Entrevistado	Fecha de entrevista
Presidente de la Junta	11-dic-18
Canalero	13-dic-18
Presidenta del óvalo	13-dic-18
Usuario (1) trabajador	13-dic-18
Usuario (6)	13-dic-18
Usuario (7)	13-dic-18

Anexo 7. Caso típico, cálculo de caudales y tiempo de riego.

Medidor Parshall

Ecuación:

$$Q = m Ha^n$$

Datos:

Ha1: 59.0 cm (primera lectura de carga hidráulica)

Ha2: 59.5 cm (segunda lectura de carga hidráulica)

Ha3: 58.0 cm (tercera lectura de carga hidráulica)

m (l s⁻¹): 0.013762 (coeficiente)

m (m³ s⁻¹): 0.5350 (coeficiente)

n: 1.53 (exponente)

Resolución

1.- Promedio de las cargas hidráulicas.

$$u = \frac{59cm + 59.5cm + 58cm}{3}$$

$$u = 58.83 \text{ cm}$$

2.- Transformación de centímetros a metros.

$$x = \frac{58.83cm}{100}$$

$$x = 0.5883 \text{ m}$$

3.- Cálculo del caudal.

$$Q = 0.5350(0.5883m)^{1.53}$$

$$Q = 0.2376 \text{ (m}^3\text{s}^{-1}\text{)}$$

Vertedero rectangular

Ecuación

$$Q = LbHa^n$$

Datos:

Ha: 14.51 cm (carga hidráulica)

b: 19 cm (ancho de la cresta del vertedero)

m: 1.84 (coeficiente del vertedero)

n: 1.5 (exponente)

altura de cresta: 10 cm

Resolución

1.- Transformación de la carga hidráulica a metros

$$x = \frac{14.51cm}{100}$$

$$x = 0.1451 \text{ m}$$

2.- Cálculo de la carga hidráulica

$$x = 0.1451 \text{ m} - 0.10 \text{ m}$$

$$x = 0.0451 \text{ m}$$

3.- Cálculo del caudal

$$Q = 1.84(0.19m)(0.0451m^{1.5})$$

$$Q = 0.00335 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$$

Tiempo de riego para el mes de agosto

Datos

Cultivo: Pasto

Kp: 0.72 (coeficiente del tanque)

Eo: 193.5 mm mes⁻¹ (evapotranspiración mensual)

Kc: 0.89 (coeficiente del cultivo)

Pe: 0 mm (precipitación efectiva)

DH: 0 mm (aporte de precipitaciones anteriores)

CC: 9.9% (capacidad de campo)

PM: 4.2% (punto de marchites)

P: 60% (porcentaje máximo de agotamiento de agua en el suelo)

Pr: 700 mm (profundidad radicular)

Fr: 7 días (frecuencia de riego)

Efa: 45% (eficiencia de aplicación de riego)

A1: 4802.8 m² (área del cultivo)

Q: 3.35 l s⁻¹ (caudal recibido)

Resolución:

1.- Evapotranspiración de referencia

$$ET_o = K_p * E_o$$

$$ET_o = 0.72 * 193.5 \text{ mm mes}^{-1}$$

$$ET_o = 139.32 \text{ mm mes}^{-1}$$

2.- Evapotranspiración del cultivo

$$ET_c = ET_o * K_c$$

$$ET_c = 139.32 \text{ mm mes}^{-1} * 0.89$$

$$ET_c = 123.99 \text{ mm mes}^{-1}$$

3.- Necesidad hídrica mensual

$$NHM = P_e + DH - ET_c$$

$$NHM = 0 + 0 - 123.99 \text{ mm mes}^{-1}$$

$$NHM = 123.99 \text{ mm mes}^{-1}$$

4.- Lámina neta

$$LAA = \left(\frac{(CC - MP) (pr)}{100} \right)$$

$$LAA = \left(\frac{(9.9 - 4.2) (700 \text{ mm})}{100} \right)$$

$$LAA = 39.9 \text{ mm}$$

$$Ln = \left(\frac{ca * p}{100} \right)$$

$$Ln = \left(\frac{39.9 \text{ mm} * 60 \%}{100} \right)$$

$$Ln = 23.94 \text{ mm}$$

5.- Necesidad hídrica diaria

$$NHDC = 0.034 \left(\frac{NHM^{1.09}}{Ln^{0.09}} \right)$$

$$NHDC = 0.034 \left(\frac{(123.99 \text{ mm mes}^{-1})^{1.09}}{(23.94 \text{ mm})^{0.09}} \right)$$

$$NHDC = 4.89 \text{ mm día}^{-1}$$

6.- Lámina total

$$Lt = \frac{NHDC * Fr}{Efa}$$

$$Lt = \frac{4.89 \text{ mm día}^{-1} * 7 \text{ días}}{0.45}$$

$$Lt = 76.4 \text{ mm}$$

7.-Volumen de riego

$$V = \frac{10 * Lt * A1}{10000}$$

$$V = \frac{10 * 76.4 \text{ mm} * 4802.8 \text{ m}^2}{10000}$$

$$V = \frac{10 * 76.4 \text{ mm} * 4802.8 \text{ m}^2}{10000}$$

$$V = 366.9 \text{ m}^3$$

8.- Tiempo de riego

$$T = \frac{V}{Q * 3.6}$$

$$T = \frac{366.9 \text{ m}^3}{3.35 \text{ l s}^{-1} * 3.6}$$

$$T = 30.42 \text{ h}$$

Anexo 8. Sobre y sub irrigación.

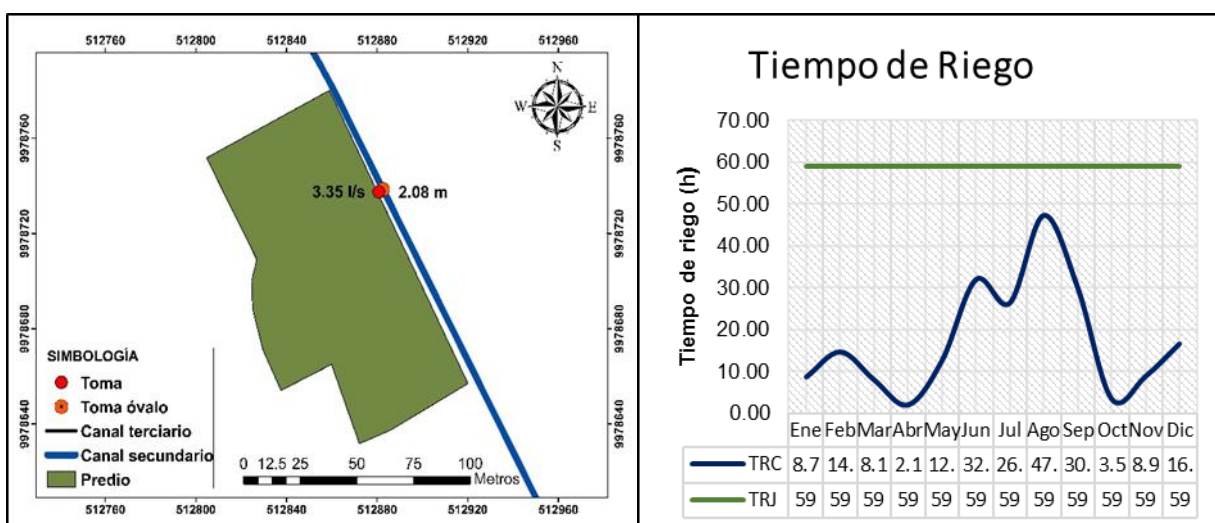


Figura 24. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Fernández Buchelli.

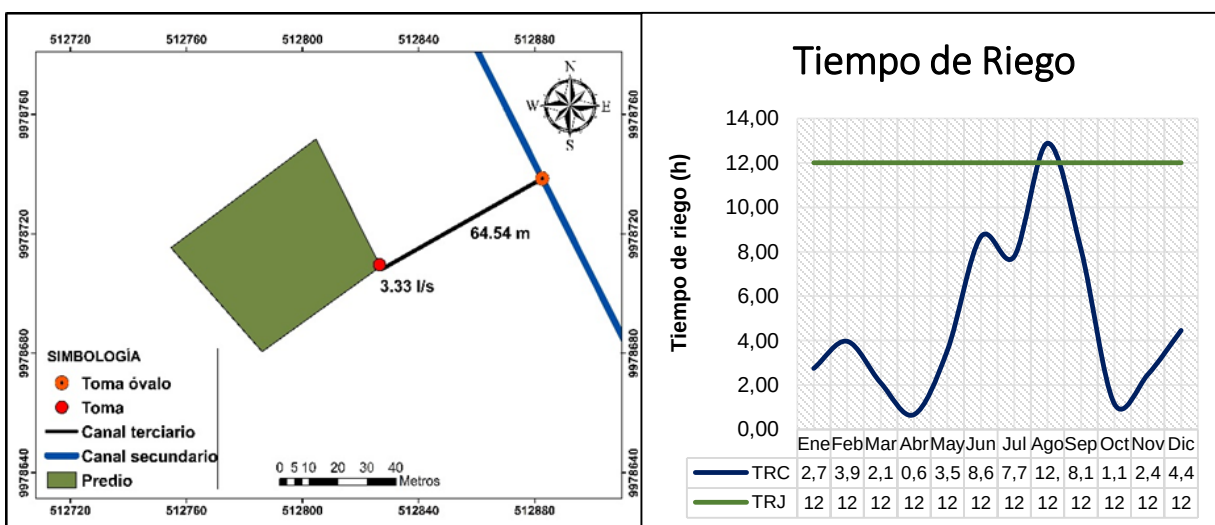


Figura 25. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Manotoa Edith.

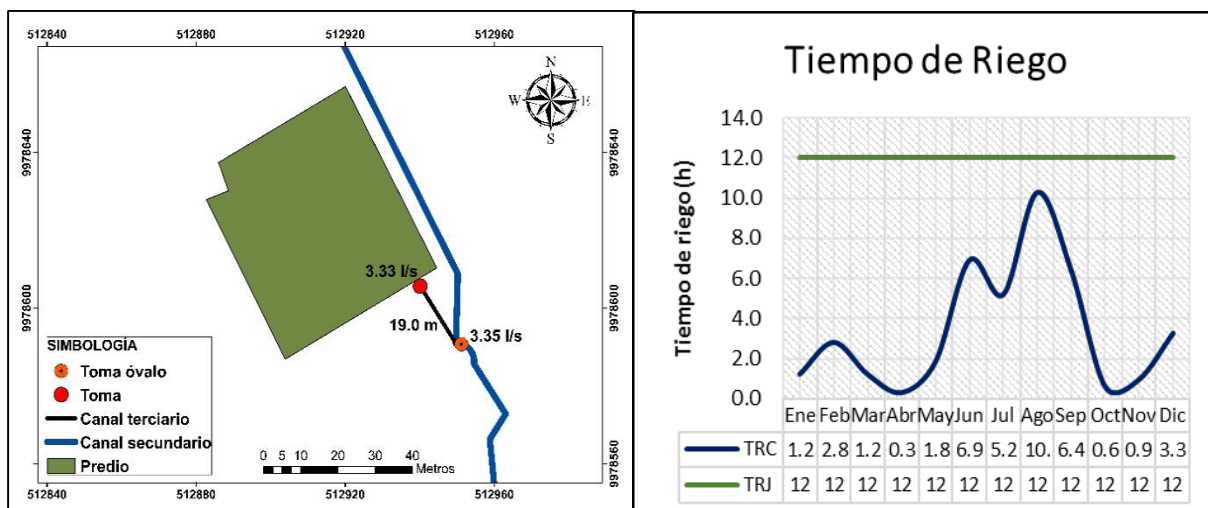


Figura 26. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Fernández Robert.

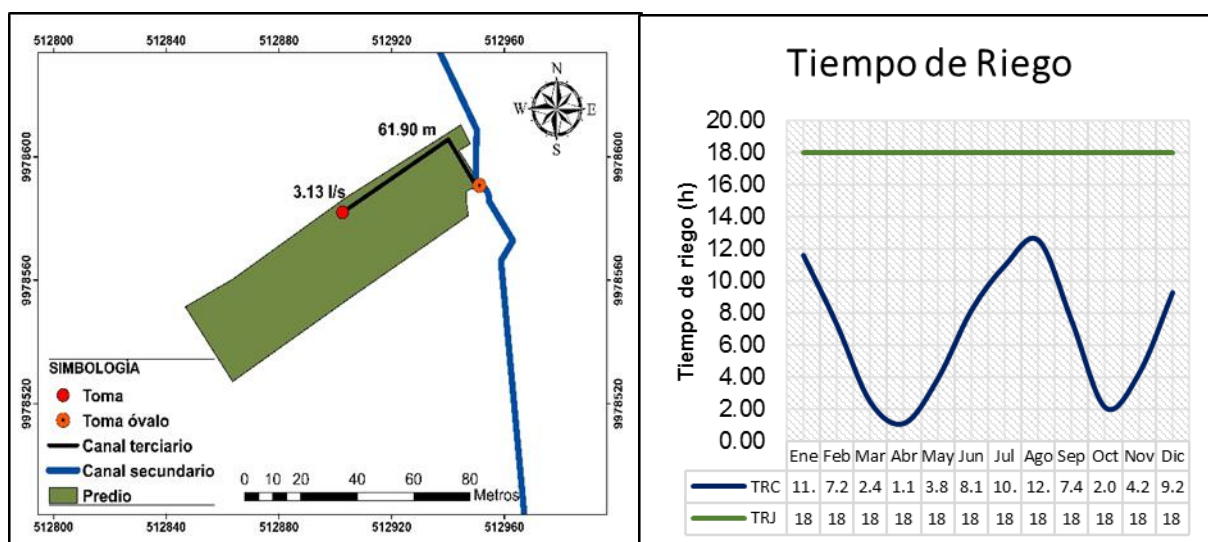


Figura 27. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Navas Amanda.

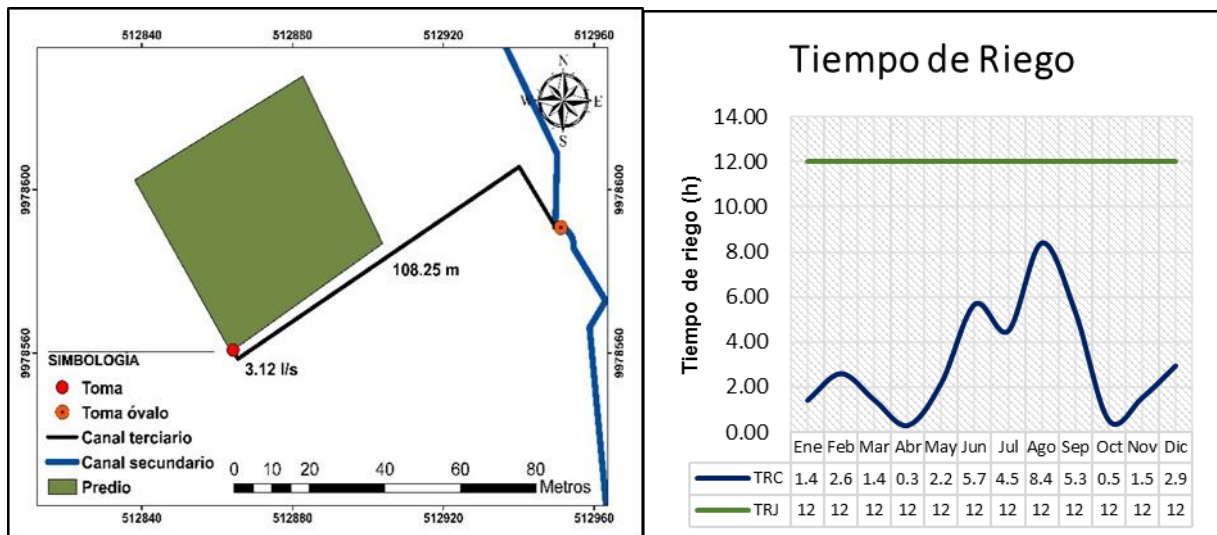


Figura 28. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Rodríguez Fernando.

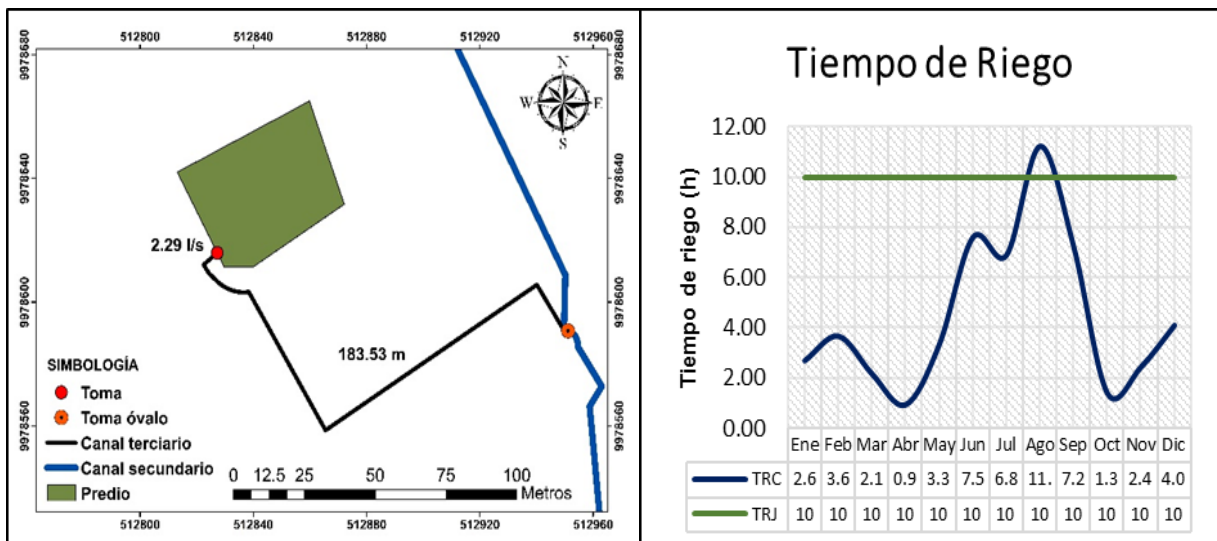


Figura 29. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Carranco Luis.

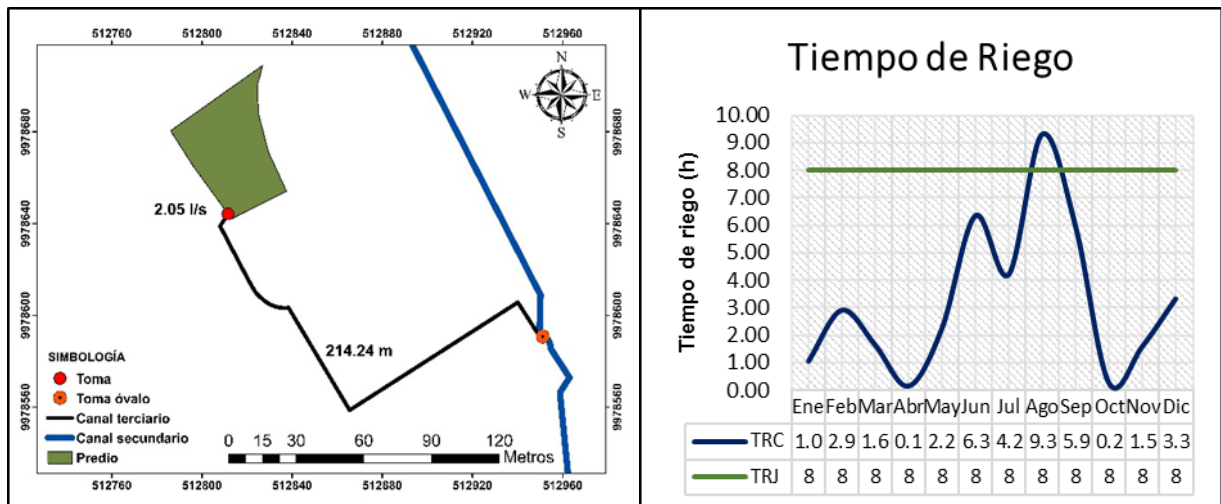


Figura 30. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Flores Vicente.

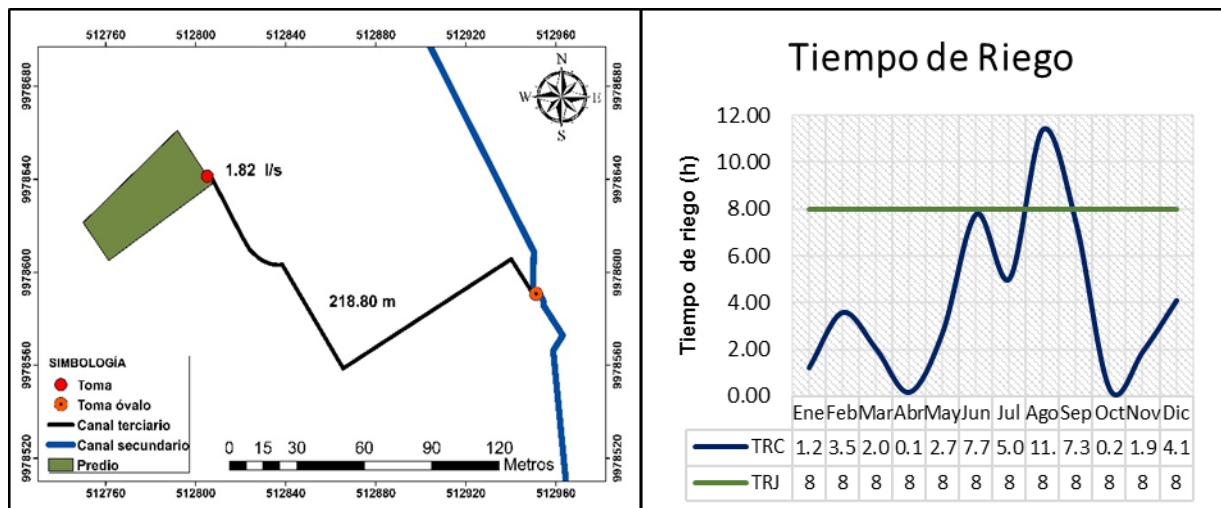


Figura 31. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Flores Josué.

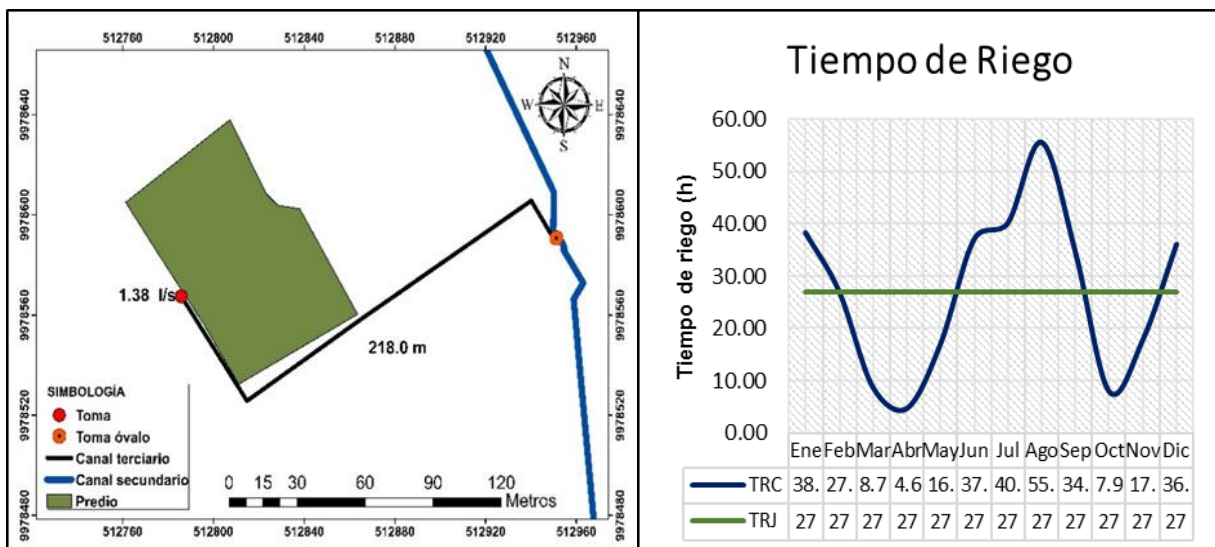


Figura 32. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Rojas Rosana.

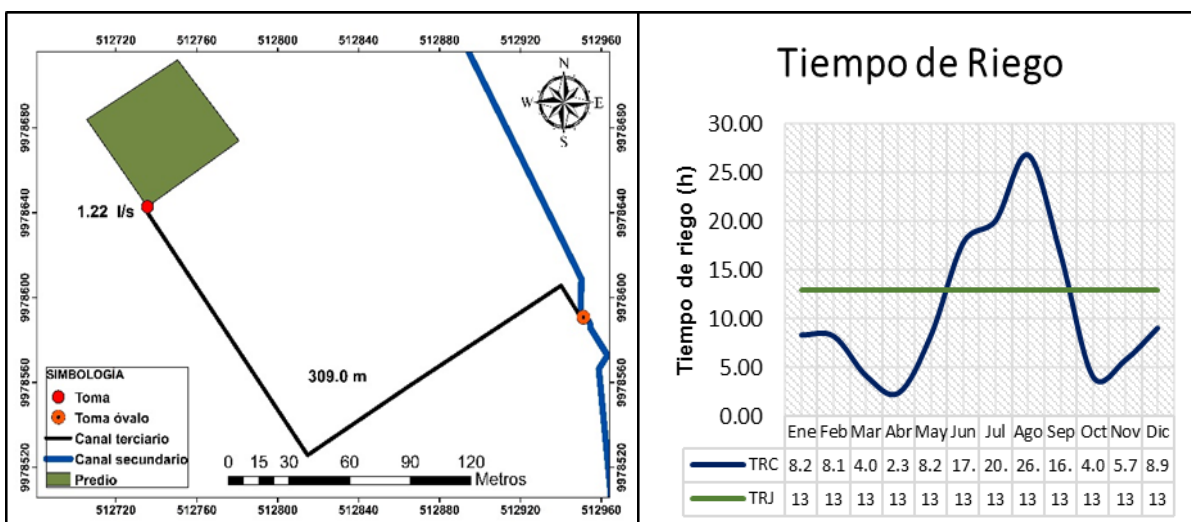


Figura 33. Tiempo de riego calculado y mapa del usuario Proaño Martha.