



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

Determinación de la eficiencia de conducción y distribución en el ramal “Alangasí -
La Merced” del sistema de riego Tumbaco

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

AUTOR: Tipantiza Chicaiza Luis Gerardo

TUTOR: Ing. Agr. Randon Stalin Ortiz Calle, MSc.

Quito, 2020

DERECHOS DE AUTOR

Yo, LUIS GERARDO TIPANTIZA CHICAIZA en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN EL RAMAL “ALANGASÍ - LA MERCED” DEL SISTEMA DE RIEGO TUMBACO**, modalidad presencial, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, concedo a favor de la Universidad Central del Ecuador 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.

Luis Gerardo Tipantiza Chicaiza

CC. 171848971-7

Dirección electrónica: luist1993@hotmail.com

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación, presentado por el Señor **LUIS GERARDO TIPANTIZA CHICAIZA**, para optar por el Grado de Ingeniero Agrónomo, cuyo título es: **DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN EL RAMAL “ALANGASÍ - LA MERCED” DEL SISTEMA DE RIEGO TUMBACO**, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador que se designe.

En la ciudad de Quito, a los 21 días del mes de febrero de 2020.

Ing. Agr. Randon Stalin Ortiz Calle, MSc.

DOCENTE-TUTOR

C.C. 1102697396

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN EL RAMAL
“ALANGASÍ – LA MERCED” DEL SISTEMA DE RIEGO TUMBACO**

APROBADO POR

Ing. Agr. Randon Ortiz, MSc.

TUTOR

Ing. Agr. Carlos Montúfar, MSc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Jaime Pazmiño, Mag.

PRIMER VOCAL DEL TRIBUNAL

Ing. Agr. Gustavo Sevillano, MSc.

SEGUNDO VOCAL DEL TRIBUNAL

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación lo dedico a Dios por su infinito amor, por estar conmigo en cada paso de mi vida, por protegerme y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades de la vida, por guiar mi camino, iluminar mi mente y darme la fuerza para cumplir mis objetivos.

A mis queridos padres Gerardo y Margarita, por su amor, sacrificio y apoyo incondicional que supieron darme día a día para seguir adelante en mi formación profesional y aún más importante en formarme como una buena persona para la sociedad.

A mi hermano y cuñada, por brindarme ánimos y estar siempre conmigo en buenos y malos momentos. Los quiero mucho Santiago y María Fernanda.

A mi familia y amigos por su confianza y apoyo incondicional, gracias por todos los consejos y enseñanzas que de alguna forma me ayudado en mi formación académica.

Luis

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme la vida, fuerza, salud y por hacerme sentir bendecido en cada momento.

A toda mi familia en especial a mis padres, por su apoyo incondicional que me motivaba a seguir siempre adelante por mi bienestar.

A la Facultad de Ciencias Agrícolas, y sus docentes, por haberme abierto las puertas y por las enseñanzas impartidas durante mi formación académica.

Al Ing. Randon Ortiz, en calidad de tutor académico, me brindo su conocimiento, guiándome con mucha dedicación y paciencia en cada una de las etapas de la tesis.

A todos mis amigos y compañeros de la facultad en especial a Jefferson, Jorge, Miguel, Jonathan, Tito, Diego, Rosita, Leslie, Diana, Doris, Gaby y al equipo Atl. La Morita a quienes nunca olvidaré por haber compartido momentos alegres y difíciles que formaron parte de mi etapa universitaria.

A Rocky y Lulú, gracias por estar en buenos y malos momentos, juntos vivimos experiencias que se recordaran para toda la vida, nunca los olvidare.

Luis

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULOS	PÁG.
DERECHOS DE AUTOR.....	iii
APROBACIÓN DEL TUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
ABREVIATURAS	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CERTIFICACIÓN DEL ABSTRACT	xvii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Generalidades	3
2.2. Marco legal	3
2.3. Sistema de Riego.....	6
2.4. Sistema de Riego Tumbaco.....	7
2.4.1. Historia del Sistema de Riego Tumbaco	7
2.4.2. Junta de Regantes.....	7
2.4.3. Descripción del Sistema de Riego Tumbaco.....	9
2.5. Medición de Caudales.....	11
2.5.1. Medidor Parshall	11
2.5.2. Vertedero de pared delgada	12
2.6. Eficiencia del Sistema de Riego.....	13

2.6.1.	Eficiencia de Conducción (Efc).....	13
2.6.2.	Eficiencia de Distribución (Efd).....	14
2.6.2.1.	Coeficiente de Uniformidad de Christiansen	14
2.6.3.1.	Balance Hídrico.....	15
2.6.3.2.	Necesidad Hídrica Mensual.....	16
2.6.3.3.	Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).....	17
2.6.3.4.	Precipitación.....	17
2.6.3.5.	Coeficiente de cultivo (Kc).....	18
2.6.4.	Métodos de Riego	19
2.6.5.	Agronomía del Riego	20
2.6.5.1.	Frecuencia de riego	20
2.6.5.2.	Tiempo de riego	20
2.6.5.3.	Volumen de aplicación en parcela	20
2.6.5.4.	Volumen diario de aplicación del agua	21
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1.	Características del sitio experimental.....	22
3.1.1.	Ubicación política del sitio.....	22
3.1.2.	Ubicación geográfica del sitio experimental	22
3.1.3.	Descripción del sitio experimental	23
3.1.4.	Características climáticas	23
3.1.5.	Características Edáficas	23
3.2.	Material Experimental	23
3.2.1.	Insumos.....	23
3.2.2.	Equipos	24
3.2.3.	Software	24
3.2.4.	Materiales de oficina	24
3.3.	Métodos.....	24
3.3.1.	Fase de levantamiento de la información	25
3.3.2.	Fase de campo	26
3.3.3.	Fase de procesamiento y análisis.	29
3.3.1.1.	Eficiencia de conducción del canal secundario.....	30
3.3.1.2.	Eficiencia de conducción del óvalo	30
3.3.1.3.	Eficiencia de distribución del óvalo 4-5	30

3.3.1.4. Sobre o sub irrigación.....	31
3.3.1.5. Entrevistas	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1. Caracterización del ramal la Merced	35
4.2. Eficiencia de Conducción	40
4.3. Eficiencia de Distribución.....	44
4.4. Sobre o sub irrigación	51
V. CONCLUSIONES.....	58
VI. RECOMENDACIONES	59
VII. RESUMEN	60
VIII. REFERENCIAS	61
IX. ANEXOS	65
X. GLOSARIO TÉCNICO	90

ÍNDICE DE TABLAS

TABLAS	PÁG.
1. Artículos sobre las Atribuciones y obligaciones de los órganos de la Junta.	8
2. Valores indicativos de la eficiencia de conducción (Ec).	13
3. Interpretación de los valores de CU.	15
4. Dimensiones y mediciones del canal Parshall.	12
5. Fases de la investigación	25
6. Usuarios en el ramal Alangasí - La Merced	36
7. Infraestructura del ramal Alangasí - La Merced.....	36
8. Levantamiento de información en la sección 1.....	41
9. Levantamiento de información en la sección 2.....	41
10. Levantamiento de información en la sección 3.....	42
11. Cargas medidas de las secciones.....	42
12. Caudales y eficiencias del canal secundario.....	43
13. Caudal de los usuarios del óvalo 4-5	49
14. Eficiencia de distribución del óvalo 4-5.....	50
15. Área de los cultivos de los usuarios del óvalo 4-5.....	52
16. Sobre o sub irrigación en los óvalos 4-5.....	54
17. Tiempo de riego calculado para cada usuario.....	57
18. Necesidad hídrica del cultivo de maíz	85
19. Necesidad hídrica del cultivo de fréjol	86
20. Necesidad hídrica del cultivo de papa.....	87
21. Necesidad hídrica del cultivo de pastos	88
22. Necesidad hídrica del cultivo de cítricos	89

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS	PÁG.
1. Caracterización del Sistema de Riego Tumbaco.....	10
2. Nomenclatura de las partes del aforador Parshall.....	11
3. Ubicación del sitio experimental	22
4. Puntos de monitoreo de la Eficiencia de Conducción	27
5. Puntos de monitoreo de la Eficiencia de Distribución	28
6. Ramal Alangasí - La Merced en el sistema de riego Tumbaco	35
7. Zonas beneficias en el ramal Alangasí - La Merced.....	37
8. Infraestructura inadecuada en La Cocha.....	39
9. Presencia de malezas en canal abierto.	39
10. Caja de revisión sin mantenimiento.	39
11. Acumulación de basura en sección revestida.	39
12. Tramo del canal en propiedad privada.....	39
13. Secciones estudiadas en el ramal Alangasí - la Merced	40
14. Eficiencias de cada sección del ramal Alangasí - La Merced	44
15. Óvalos del ramal Alangasí - La Merced.	45
16. Ubicación de las acometidas de los óvalos 4-5.	46
17. Distribución de los usuarios de los óvalos 4-5	48
18. Ordenamiento de usuarios según las mediciones	51
19. Uso y cobertura del óvalo 4-5	53
20. Condición del mes de agosto.....	56
21. Entrada del ramal La Merced	66
22. Captación del agua del canal principal hacia al ramal.....	66
23. Compuerta de entrada del ramal	67

24. Sección 1 del ramal.....	67
25. Sección 2 del ramal.....	68
26. Malezas dentro del ramal.....	68
27. Válvula del Ovalo 4-5.....	69
28. Acequia perteneciente el ovalo 4-5	69
29. Instalación del canal Parshall en la sección 1 del ramal.....	70
30. Medición con el canal Parshall en la sección 1 del ramal.	70
31. Medición con el canal Parshall en la sección 2 del ramal	71
32. Medida de la carga hidráulica de la sección 2.....	71
33. Vertedero rectangular sin contracciones.	74
34. Instalación del vertedero en la entrada del primer usuario.	74
35. Medición en el primer usuario	75
36. Medición en el usuario 5.	75
37. Cultivo de pasto presente en un usuario.	76
38. Registro de datos obtenidos del vertedero.....	76
39. Entrevistas realizadas a diferentes usuarios.	77
40. Tubería implementada en el ramal	82
41. Acumulación del agua después de la sección 3	83
42. Filtración del agua a través de la pared	83
43. Predio afectado por la mala implementación de la tubería.....	83
44. Caja de revisión de la tubería	83
45. Tramo Inicial de la tubería.....	83
46. Tramo final de la tubería	83

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS	PÁG.
1. Metodología del proyecto	65
2. Fotografías de la visita preliminar del ramal	66
3. Fotografías de las mediciones del ramal.	70
4. Mapa de distribución de usuarios del ovalo 4-5	72
5. Flujo del agua y uso del suelo de los usuarios presentes en el óvalo 4-5	73
6. Fotografías de las mediciones del el óvalo 4-5	74
7. Guía de la entrevista.....	78
8. Entrevista realizada al usuario del ramal La Merced.	81
9. Requerimiento hídrico de los principales cultivos del ramal Alangasí - La Merced.....	85

ABREVIATURAS

CC:	Capacidad de campo (%)
CORNISOR:	Corporación Regional de la Sierra Norte
CU:	Coeficiente de uniformidad (%)
E:	Escorrentía
Efc:	Eficiencia de conducción (%)
Efd:	Eficiencia de distribución (%)
ET:	Evapotranspiración
ETo:	Evapotranspiración de referencia (mm mes^{-1})
ETR:	Evapotranspiración de real mensual (mm)
Fr:	Frecuencia de riego
Ha:	Carga Hidráulica (cm)
Hf:	Humedad final
Hi:	Humedad inicial
I:	Infiltración
J.G.U.S.I.R.T:	Junta General de Usuarios del Sistema de Riego Tumbaco
JRT:	Junta de Riego Tumbaco
Kc:	Coeficiente de Cultivo
Kp:	Coeficiente del tanque evaporímetro
LAA:	Lámina de agua aprovechable (mm)
Ln:	Lamina neta
MINAGRI	Ministerio de Agricultura y Riego - Perú
NHD:	Necesidad Hídrica Diaria
NHDp:	Necesidad hídrica ponderada (mm día^{-1})
NHM:	Necesidad Hídrica Mensual
P:	Precipitación (mm).
Pe:	Precipitación efectiva mensual (mm mes^{-1})
Q:	Caudal (l s^{-1})
Qs:	Caudal que sale del canal o tramo de canal
Qe:	Caudal que entra al canal o tramo de canal.
R:	Lámina de agua aplicada mediante el riego (mm)
Tr:	Tiempo de riego (h)
TRU:	Tiempo de riego por usuario (h)
V:	Volumen de agua ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$)
VS:	Volumen de agua que sale del canal o tramo de canal
VE:	Volumen de agua que entra al canal o tramo de canal
AHS:	Cambio en la humedad del suelo ($H_f - H_i$)

TÍTULO: Determinación de la eficiencia de conducción y distribución en el ramal “Alangasí - La Merced” del Sistema de Riego Tumbaco

Autor: Luis Gerardo Tipantiza Chicaiza

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

RESUMEN

El agua es un recurso escaso y limitado. Su uso responsable y eficiente es imprescindible para mantener la sostenibilidad de la agricultura. La presente investigación se realizó en el ramal “Alangasí – La Merced” del Sistema de Riego Tumbaco. El estudio se desarrolló para determinar la eficiencia de conducción en el canal secundario, la eficiencia de distribución y la presencia de sobre o sub irrigación de los usuarios de un óvalo. Mediante la utilización de aforadores se determinó los caudales del canal secundario, y de los usuarios pertenecientes al óvalo 4-5. Los resultados obtenidos son: i) la eficiencia de conducción promedio del ramal fue del 93.41 %; ii) la eficiencia de distribución en el óvalo 4-5 fue del 19.47 %; iii) el 92.86 % de los usuarios presentan sub irrigación. En conclusión: la eficiencia de conducción en el canal secundario fue buena, la eficiencia de distribución del agua en el óvalo fue pobre y existe sub irrigación en la mayoría de los usuarios.

PALABRAS CLAVE: CAUDAL / NECESIDADES HÍDRICAS / TIEMPO DE RIEGO / SOBRE IRRIGACIÓN / SUB IRRIGACIÓN

TITLE: Determination of the conveyance and distribution efficiency in the "Alangasí – La Merced" branch secondary canal of the Tumbaco Irrigation System

Author: Luis Gerardo Tipantiza Chicaiza

Tutor: Randon Stalin Ortiz Calle

ABSTRACT

Water is a scarce and a limited resource. A responsible and efficient use is essential to maintain the sustainability of the agriculture. The present research was carried out on the "Alangasí - La Merced" branch canal of the Tumbaco Irrigation System. The study was developed to determine the conveyance efficiency in the secondary canal, the distribution efficiency and the presence of over or under irrigation of the users of a tertiary unit. The Parshall flume was used to measure the flow in the canals. The results obtained were: i) the average conveyance efficiency in the branch canal was 93.41 %; ii) the distribution efficiency in the tertiary unit was 19.47 %; iii) 92.86 % of the users presented under irrigation. In conclusion: the conveyance efficiency in the branch secondary canal was good, the distribution efficiency in the tertiary unit was poor and there was under irrigation in most users.

KEYWORDS: FLOW / WATER REQUIREMENTS / IRRIGATION TIME / OVER IRRIGATION / UNDER IRRIGATION

CERTIFICACIÓN DEL ABSTRACT

En mi calidad de Tutor del Trabajo de graduación cuyo título es: **“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN EL RAMAL “ALANGASÍ – LA MERCED” DEL SISTEMA DE RIEGO TUMBACO”** presentado por el Sr. TIPANTIZA CHICAIZA LUIS GERARDO, previo a la obtención del Título de Ingeniero Agrónomo, certifico haber revisado y corregido el ABSTRACT para el Trabajo de Grado, aprobado el mismo, después de realizadas las observaciones por los miembros del tribunal, por lo que apruebo el mismo, para el empastado final.

M.Sc. Randon Stalin Ortiz Calle.

DOCENTE-TUTOR

C.C. 1102697396

I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso escaso y limitado. Su uso responsable y eficiente es imprescindible para mantener la sostenibilidad de la agricultura. Esto queda patente en situaciones de sequía como la que estamos viviendo actualmente. Pero además, se hace imprescindible en la agricultura actual por los precios que el agricultor tiene que pagar por el agua y la energía (Bórnez, 2017). El agua representa casi las tres cuartas partes de la superficie de nuestro planeta y constituye un elemento imprescindible para la vida. Con los conocimientos de que hoy se dispone se puede afirmar que sin agua no hay vida (Fernández *et al.*, 2010).

De toda el agua que existe en el mundo, tan solo el 3% es agua dulce y de esta, la agricultura consume cerca del 70%, lo cual sumado a la influencia del cambio climático, y la presión que ejerce nuestra creciente población mundial, hace que sea imperativo buscar métodos para disminuir el consumo de agua de la agricultura, pero manteniendo o aumentando la producción por área de cultivo (IRRINEWS, 2017).

El área regable neta del Ecuador es de aproximadamente 3'136 000 ha, el 93.3 % de las cuales están sobre las cuencas de la vertiente del Pacífico y la diferencia sobre la vertiente Amazónica. La cuenca más importante es la del río Guayas, que representa el 40.4 % de la superficie regable del país, seguida de la del río Esmeraldas con el 12.6 %. Del total del área regable, apenas 560 000 ha están bajo riego, lo que representa el 30.0 % de la superficie cultivada del país (Sánchez & Vinueza, 2007).

El mismo autor acota que la agricultura bajo riego tiene una significación mucho mayor que la de secano, aportando aproximadamente con el 75.0 % del valor de la producción agrícola nacional. La mayor parte del consumo de agua del Ecuador se destina al riego, estimándose su uso en un 80.0 % del consumo total; no obstante, las pérdidas en la captación, conducciones primarias, secundarias y terciarias y en el ámbito de parcela, hacen que las eficiencias varíen entre el 15 % y 25 %.

El sistema de riego Tumbaco cuenta con una organización y distribución de sus diferentes ramales que la conforman alrededor de 2 647 usuarios, administrados por la junta General de Usuarios de Tumbaco (JGUSIRTUM). El sistema de riego Tumbaco es parte del sector denominado Chuspiyacu, zona donde se capta el agua proveniente del Río Pita, distribuyéndose a siete ramales; La Merced, Ilaló, Chichipata, El Pueblo, La Viña, Churoloma y San Blas (GAD Tumbaco, 2012).

La zona que se encuentra beneficiada de la red de riego en Tumbaco a través de los años ha evolucionado en la actividad económica a la que se dedican sus habitantes, pues en forma

generalizada se ha evidenciado una transformación en la urbanización y parcelación de las unidades productivas, trayendo consigo consecuencias para el desarrollo local agrícola, encontrando un padrón desactualizado, pues la parroquia de Tumbaco tiene un cambio en el tamaño de la superficie apta para la agricultura y como para el riego.

Este proyecto se enfocó a la problemática que presenta el recurso agua, a través de los años los usuarios se han visto afectados por diferentes situaciones como es el flujo migratorio de la población, el cambio de políticas, y el cambio de autoridades de la Junta de Riego, la sumatoria de estos problemas han desencadenado un problema como es el desconocimiento del estado actual en que se encuentra el canal de riego. Existe un deterioro de la infraestructura del sistema de riego, y esto ha afectado directamente en la eficiencia de riego tanto en la conducción como en la distribución. Por lo expuesto anteriormente, esta investigación se planteó determinar la eficiencia de conducción y distribución en el ramal “Alangasí – La Merced” del Sistema de Riego Tumbaco. Específicamente se buscó determinar la eficiencia de conducción en tres secciones del canal secundario; por otra parte determinar la eficiencia de distribución en el óvalo 4-5 y analizar si existe sobre o sub irrigación en el óvalo indicado, mismo que nos permitió encontrar las causas que afectan la conducción y distribución del agua en el ramal.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades

Según CONGOPE (2016), el riego es la actividad más utilizada por el hombre para la producción de sus alimentos. Es una actividad tan antigua como la creación del hombre, encontramos que la Biblia habla de él en el libro Génesis 2:10 cuando dice “De Edén salía un río que regaba el Jardín, de allí se dividía y se formaban de él cuatro brazos “.

El agua es un elemento esencial para la vida. El 70 % de la superficie terrestre está cubierto por agua. Del enorme volumen total de agua que hay en el planeta, alrededor de 1386 millones de km³, solo el 1 % es agua dulce (IICA, 2017).

En Ecuador la disponibilidad de agua en el Ecuador puede variar de 4'320 000 hm³ en la estación lluviosa hasta solo 146 000 hm³ en la estación seca. La precipitación media anual asciende a 2 274 mm, pero la distribución espacial y temporal es muy diversa, y más ahora, que hay evidencia de los efectos del cambio climático. La mayor parte del agua utilizada proviene de los recursos superficiales. Sus principales usos son: riego (82 %), uso doméstico (12 %) y uso industrial (6 %) (MAGAP, 2013).

La superficie bajo UPA's en la sierra, según el III CNA, 2 000, asciende a 4'762 331 has, de las cuales 1'962 228 has (31 %) tienen vocación agropecuaria y 2'800 113 has (69 %) corresponden a zonas de pastos naturales, montes y bosques, páramos y otros usos. De la superficie agrícola sólo se riegan 362 255 has, es decir, el 42 % del total de la superficie con riego del país (Román *et al.*, 2011).

El mismo autor acota que la sierra se extiende entre las cotas que van de los 1 200 a los 6 000 msnm y por la presencia de la cordillera de los Andes presenta una topografía muy accidentada, lo que dificulta la producción agropecuaria, con o sin riego. A esta dificultad se suma la estructura de tenencia de la tierra, con una presencia muy importante del minifundio.

Dado el crecimiento desmedido y muchas veces mal planeado que ha ocurrido en la mayor parte de los sectores urbanos y rurales durante las últimas décadas, el agua dulce se ha convertido en un asunto estratégico, no solo para la seguridad alimentaria, sino también para la seguridad nacional (IICA, 2017).

2.2. Marco legal

La gestión de los recursos hídricos a nivel de sistemas de riego se maneja por niveles (nacional, provincial y local); a continuación se presentan las normas legales establecidas por las siguientes entidades públicas.

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador 2008

La Constitución de la República del Ecuador del 2008 es la norma jurídica de mayor jerarquía dentro del ordenamiento jurídico ecuatoriano, en la cual se abordan temas de gestión y administración referentes al riego.

Según la Constitución del Ecuador (2008), confiere los siguientes mandatos con respecto al agua:

Art. 263. Numeral 3 y 5.- Los gobiernos provinciales tendrán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de las otras que determine la ley:

3. Ejecutar, en coordinación con el gobierno regional, obras en cuencas y micro cuencas.

5. Planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego

Art. 282.- El Estado regulará el uso y manejo del agua de riego para la producción de alimentos, bajo los principios de equidad, eficiencia y sostenibilidad ambiental. Se prohíbe el latifundio y la concentración de la tierra, así como el acaparamiento o privatización del agua y sus fuentes.

Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley.

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua. La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.

2.2.2. Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD)

Según el COOTAD (2010), incluye las funciones de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD's) para el agua de riego. A continuación, se detallarán artículos importantes referentes al agua de riego:

Art. 42.- Los gobiernos autónomos descentralizados provinciales tendrán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de otras que se determinen: **e)** Planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego de acuerdo con la constitución y la ley.

Art. 133.- Ejercicio de la competencia de riego “La competencia constitucional de planificar, construir, operar y mantener sistemas de riego, está asignada constitucionalmente a los

gobiernos autónomos descentralizados provinciales. Al efecto, éstos deberán elaborar y ejecutar el plan de riego de su circunscripción territorial de conformidad con las políticas de desarrollo rural territorial y fomento productivo, agropecuario y acuícola que establezca la entidad rectora de esta materia y los lineamientos del plan nacional de riego y del plan de desarrollo del gobierno autónomo descentralizado respectivo, en coordinación con la autoridad única del agua, las organizaciones comunitarias involucradas en la gestión y uso de los recursos hídricos y los gobiernos parroquiales rurales”.

2.2.3. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua

El objeto de la ley es desarrollar el derecho humano al agua, así como regular la autorización, gestión, preservación, conservación, uso y aprovechamiento del agua, comprendidos dentro del territorio nacional en sus distintas fases, formas y estados físicos, a fin de garantizar el Sumak Kawsay (Asamblea Nacional, 2014).

Los artículos más relevantes con respecto al agua de riego para la agricultura se mencionan continuación:

Artículo 12.- El Estado, los sistemas comunitarios, juntas de agua potable y juntas de riego, los consumidores y usuarios, son corresponsables en la protección, recuperación y conservación de las fuentes de agua.

Artículo 14.- El Estado regulará las actividades que puedan afectar la cantidad y calidad del agua, el equilibrio de los ecosistemas en las áreas de protección hídrica que abastecen los sistemas de agua para consumo humano y riego.

Artículo 18.- Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua. Las competencias son:

- i) Otorgar personería jurídica a las juntas administradoras de agua potable y a las Juntas de Riego y drenaje;
- s) Implementar un registro para identificar y cuantificar los caudales y las autorizaciones de uso o aprovechamiento productivo cuando se trata de caudales que fluyen por un mismo canal o sistema de riego.

Artículo 32.- Gestión pública o comunitaria del agua. La gestión del agua es exclusivamente pública o comunitaria. La gestión comunitaria la realizarán las comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y juntas de organizaciones de usuarios del servicio, juntas de agua potable y juntas de riego. Comprende, de conformidad con esta Ley, la participación en la protección del agua y en la administración, operación y mantenimiento de infraestructura de la que se benefician los miembros de un sistema de agua y que no se encuentre bajo la administración del Estado.

Artículo 35.- Principios de la gestión de los recursos hídricos. La gestión de los recursos hídricos en todo el territorio nacional se realizará de conformidad con los siguientes principios: La prestación de los servicios de agua potable, riego y drenaje deberá regirse por los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad.

Artículo 39.- Servicio público de riego y drenaje. Las disposiciones de la presente Ley relativas a los servicios públicos se aplicarán a los servicios de riego y drenaje, cualquiera sea la modalidad bajo la cual se los preste. El servicio público de riego y drenaje responderá a la planificación nacional que establezca la autoridad rectora del mismo y su planificación y ejecución en el territorio corresponde a los gobiernos autónomos descentralizados provinciales, de conformidad con sus respectivas competencias.

Artículo 40.- Principios y objetivos para la gestión del riego y drenaje. El riego y drenaje es un medio para impulsar el buen vivir o sumak kawsay. La gestión del riego y drenaje se regirán por los principios de redistribución, participación, equidad y solidaridad, con responsabilidad ambiental.

Artículo 41.- Disposiciones para los sistemas públicos de riego y drenaje. La infraestructura de los sistemas públicos de riego y drenaje son parte del dominio hídrico público y su propiedad no puede ser transferida bajo ninguna circunstancia.

Artículo 47. Definición y atribuciones de las juntas de riego. Las juntas de riego son organizaciones comunitarias sin fines de lucro, que tienen por finalidad la prestación del servicio de riego y drenaje, bajo criterios de eficiencia económica, calidad en la prestación del servicio y equidad en la distribución del agua.

2.3. Sistema de Riego

Un sistema de riego se caracteriza por una infraestructura que permite captar, transportar y repartir el recurso agua. Antes de ser una obra de ingeniería civil, un sistema de riego es entonces una construcción social que lleva a grupos humanos, comunidades e individuos hombres y mujeres, a definir colectivamente las modalidades de acceso al agua y de creación o conservación de los derechos del agua, así como las obligaciones y reglas que todos deben cumplir para mantener y conservar el acceso a este recurso (Apollin & Eberhart, 1998).

El sistema de riego, es el conjunto de instalaciones técnicas que garantizan la organización y realización del mejoramiento de tierras mediante el riego (Aidarov *et al.*, 1985).

Partes que integran los sistemas:

- a) Fuente de regadío (río, presa, pozos...)
- b) Toma de agua de cabecera.
- c) El canal principal o tubería.
- d) Los canales distribuidores o tuberías (primario, secundario, terciario...).
- e) Red de drenaje destinada a evacuar excedentes de agua y de sales, así como de niveles freáticos excedentes.
- f) Las obras hidrotécnicas del sistema de riego (compuertas, válvulas, medidores, aliviadores...).
- g) Las instalaciones adecuadas para garantizar el riego durante todo el ciclo.

2.4. Sistema de Riego Tumbaco

2.4.1. Historia del Sistema de Riego Tumbaco

En 1944 se promulga la Ley de creación de la Caja Nacional de Riego. Esa entidad vendría a ser la primera institución pública de riego. Empieza entonces la construcción de grandes proyectos de riego tanto en la Costa como en la Sierra. Específicamente en Pichincha, dos serán los proyectos más representativos que emprendió la “Caja”: Tumbaco y El Pisque (GAD PICHINCHA, 2014).

Esta entidad se crea el 9 de Agosto de 1944, mediante la firma de un contrato entre el Gobierno y las Cajas de Previsión, asignándole un capital de diez millones de sucres, dejándola adscrita al Ministerio de Obras públicas, entrando en funciones con los proyectos de riego de Tumbaco y Portoviejo, cuya construcción había iniciado el Ministerio de Obras Públicas pocas semanas antes. En el mes de Noviembre de 1944 inicia los trabajos del proyecto de Riobamba y al año siguiente los proyectos El Pisque y Milagro. La escasez de fondos suficientes causa desde su comienzo retrasos irreparables en la construcción de las obras. Pese a ello logra ponerse en servicio el primer proyecto: Tumbaco, en el año 1947 (Ramos, 2016).

Desde 1990 hasta 2001 no se asignan los recursos por lo cual, la junta se sostuvo por autogestión en la administración de la Corporación Regional de Desarrollo de la Sierra Norte - CORSINOR1. A partir de 2001 se inició la reconstrucción de la captación en el río Pita con recursos asignados a CORSINOR. Posteriormente, el Instituto Nacional de Riego - INAR consignó USD 60 000 para obras de mejora hasta el año 2010. En la actualidad, la Subsecretaría de Riego y Drenaje del Ministerio de Agricultura y Ganadería es la que prepara los lineamientos para prestación, acceso y derecho sobre el uso estratégico del agua (Maigua, 2016)

2.4.2. Junta de Regantes

Creación de la Junta de Riego

Según el reglamento de la Junta de Riego de Tumbaco (JRT, 2018), la Junta de Riego Tumbaco, se constituye mediante resolución de la Personería Jurídica N° 77-2017 emitida con fecha 21 de septiembre del 2017 por parte del Centro de Atención al Ciudadano Quito.

Organización

Según el estatuto y reglamento de la Junta de Riego de Tumbaco (JRT, 2018), la Organización de la “JRT”, se encuentra estructurada de la siguiente manera:

- a) La Asamblea General de Consumidores.
- b) El directorio de la “JRT” conformado por: Presidente/a, Vicepresidente/a, Secretario/a, Tesorero/a, siete de vocales principales conformados por los siete presidentes de los diferentes ramales; Administrador y/o Técnico en Riego y Operadores del sistema.
- c) La directiva de los Ramales y óvalos.

Operación

Según el estatuto y reglamento de la Junta de Riego de Tumbaco (JRT, 2018), la Junta de Riego Tumbaco indica los siguientes derechos y obligaciones que tiene la Asamblea General de Consumidores, la Directiva, el Síndico, los Operadores, los Vocales y los Consumidores.

Tabla 1. Artículos sobre las Atribuciones y obligaciones de los órganos de la Junta.

Organización	Estatuto y Reglamento de la JRT
Asamblea General de Consumidores	En el Art. 6 detalla en los literales del a) hasta la k) las atribuciones y las obligaciones que deben cumplir la Asamblea General de consumidores de la “JRT”.
La Directiva	En el Art. 22 detalla en los literales del a) hasta la x) las atribuciones y las obligaciones que deben cumplir la Directiva de la “JRT”.
El Síndico o Abogado Patrocinador	En el Art. 27 detalla en los literales del a) hasta la f) las atribuciones y las obligaciones que deben cumplir el Síndico de la “JRT”.
Los Operadores	En el Art. 28 detalla en los literales del a) hasta la u) los deberes, las atribuciones y las obligaciones que deben cumplir los Operadores de la “JRT”.
Los Vocales	En el Art. 29 detalla en los literales del a) hasta la g) las atribuciones y las obligaciones que deben cumplir los Vocales de la “JRT”.
Los Consumidores	En el Art. 42 detalla en los literales del a) hasta la p) los deberes y las obligaciones que deben cumplir los Consumidores de la “JRT”.

Fuente: JRT, 2018.

Entrega del Agua de riego

Según el estatuto y reglamento de la Junta de Riego de Tumbaco (JRT, 2018), en el Art. 43 del reglamento detalla que los turnos de riego se establecerán de acuerdo al área de riego neta de los terrenos de los consumidores del sistema.

Tarifa

Según el estatuto y reglamento de la Junta de Riego de Tumbaco (JRT, 2018), en el Art. 81 del reglamento detalla “La tarifa anual del agua de riego será calculado de acuerdo al presupuesto que se necesite y aprobado por el Directorio” y en el Art. 82 menciona “El pago de la tarifa del agua de riego se lo hará los tres primeros meses del año en curso, en caso de no pagar durante el tiempo establecido se procederá a la suspensión del servicio y se cobrará el valor por reconexión al sistema”.

2.4.3. Descripción del Sistema de Riego Tumbaco

El Sistema de Riego Tumbaco se encuentra ubicado en el noreste de la provincia de Pichincha, en la parte oriental del Cantón Quito. Está conformado por siete ramales: Alangasí – La Merced, Ilaló, San Blas, El Pueblo, Churroloma, Chichipata y La Viña; las fuentes de abastecimiento son: el Río Pita y el río Guanal. En la actualidad alrededor de 2 300 usuarios son beneficiados por el mismo, dotando de alimentos a los mercados principales de la zona del Distrito Metropolitano de Quito (Chasiluisa, 2017).

En el año 2 001 a través de un censo realizado por la Junta General en conjunto con CORSINOR, se tomaron los siguientes datos: La obra de toma del Río Pita capta $1.5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; y es una bocatoma con presa derivadora o tipo convencional, tiene muro de encausamiento, azud, desripador y un desarenador, está ubicado cerca de la Parroquia Píntag, sector Santa Teresa en la provincia de Pichincha a 2 700 msnm. El sistema consta de una segunda bocatoma ubicada en el Río Huangal, en la cota 2 560 msnm. La conducción se realiza por medio de una red principal; en un primer tramo tiene una longitud de 8 669 m de canal muerto (6 111 m de túneles y 2 558 m canal abierto). A partir de la toma de Alangasí, en una longitud de 251 m, incluido un túnel de 245 m, se conduce el agua hacia un cauce natural (Quebrada Melo) en un recorrido de 5 109 m, que transporta el agua hasta el Río Huangal, lugar en donde por una nueva toma se vuelve a captar el agua para conducirla mediante un canal de 80 m hasta un desarenador de 17.4 m (Cisneros, 2018).

El mismo autor acota que toda la red principal, desde la bocatoma del Río Pita hasta la bocatoma del Río Huangal, es un cauce sin revestimiento. A partir del desarenador del Río Huangal continúa una red principal revestida hasta la toma que derivan a Ilaló, con una longitud de 5 655 m,

consistente en un tramo de canal abierto de 255 m y 10 túneles de 5 400 m. La red llega hasta la derivación de Chichipata-El Pueblo (longitud 2 116 m), que incluyen un túnel revestido de 1 458 m y un canal abierto de 658 m sin revestir hasta la toma Churolooma. El Pueblo (1 317 m) y por último mediante una conducción principal hasta las tomas de San Blas y Churolooma de 1 404 m, sin revestir. Tanto la red secundaria como los canales terciarios de distribución que parten de ésta, están constituidos en cauces de tierra sin revestimiento, en un 90 % de su longitud total.

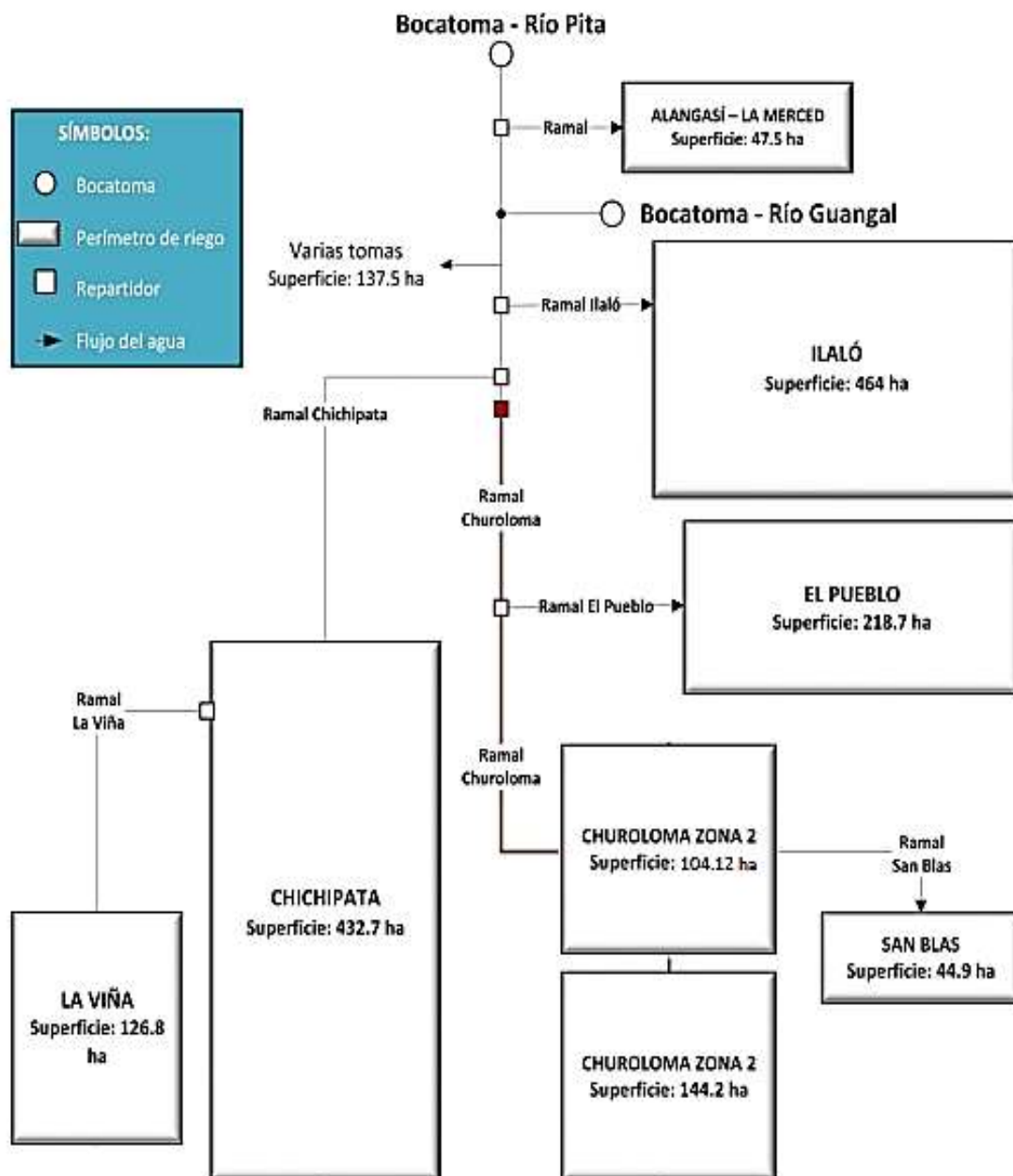


Figura 1. Caracterización del Sistema de Riego Tumbaco.

Fuente: Ochoa, 2017.

2.5. Medición de Caudales

El caudal es la cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo por un conducto abierto o cerrado como un río, riachuelo, acequia, una canal o una tubería. La hidrometría permite medir determinar el caudal del agua que fluye sobre alguna de estas estructuras. Es de suma importancia conocer el caudal que fluye por una determinada fuente ya que ese caudal fluctúa según las épocas del año y las condiciones meteorológicas (Shirakawa, 2018).

2.5.1. Medidor Parshall

Según Pedroza (2001), el aforador Parshall es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal. Consta de cuatro partes principales:

i) Transición de entrada. ii) Sección convergente. iii) Garganta. iv) Sección divergente

Partes del Canal Parshall

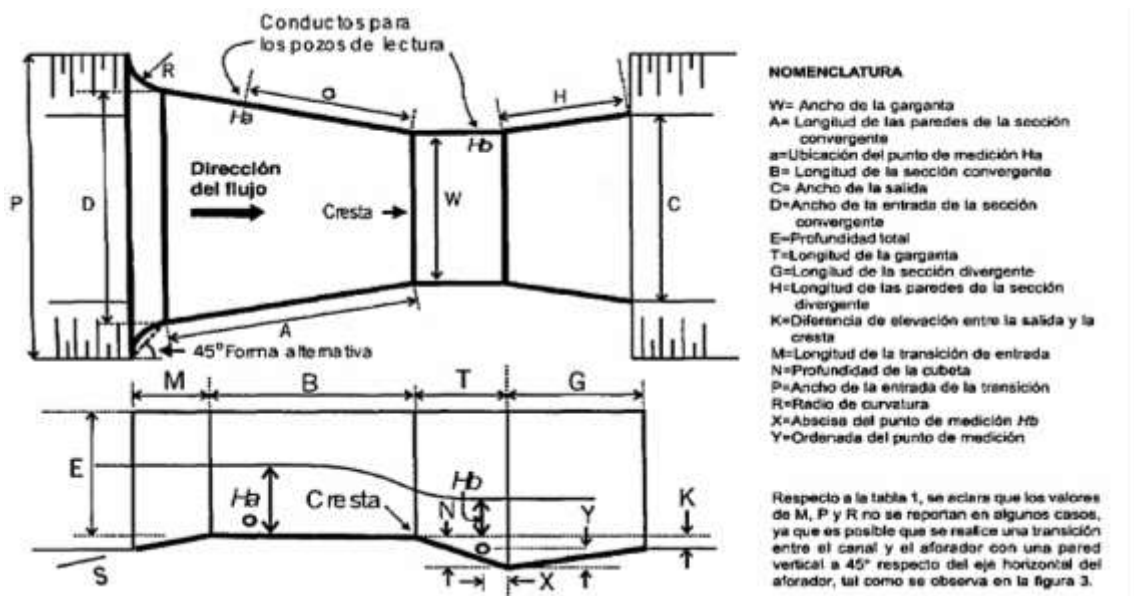


Figura 2. Nomenclatura de las partes del aforador Parshall.

Fuente: Pedroza, 2001.

En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del canal, con una pendiente suave y las paredes se van cerrando, ya sea en línea recta o circular. En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo. En la garganta el pico vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente. En cualquier parte del aforador, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el aforador tiene una sección rectangular (Pedroza, 2001).

Tabla 2. Dimensiones y mediciones del canal Parshall.

Ancho de garganta W		Caudal Q (l/s)		Ancho de garganta W		Caudal Q (l/s)	
pulg	cm	Mínimo	Máximo	pulg	cm	Mínimo	Máximo
3"	7,6	0,85	53,8	4'	122,0	36,70	1921,5
6"	15,2	1,52	110,4	5'	152,5	62,8	2422,0
9"	22,9	2,55	251,9	6'	183,0	74,4	2929,0
1'	30,5	3,11	455,6	7'	213,5	115,4	3440,0
1 1/2'	45,7	4,25	696,2	8'	244,0	130,7	3950,0
2'	61,0	11,89	936,7	10'	305,0	200,0	5660,0
3'	91,5	17,26	1426,3				

Fuente: Oliveras, 2016.

2.5.2. Vertedero de pared delgada

Un vertedor de pared delgada sin contracción lateral es aquel cuya longitud de cresta coincide con el ancho del canal rectangular en donde está instalado. Las fórmulas para el cálculo del gasto en función de la carga están basadas en experimentos realizados para un vertedor particular y para un rango preestablecido de gastos (Skertchly, 1988). Según Francis (1855) citado por (Skertchly, 1988), reporta una ecuación que es posiblemente la más difundida; ésta tiene la forma

$$q = 0,587\sqrt{g} b \left[\left[h_1 + \frac{V_a^2}{2g} \right]^{3/2} - \left[\frac{V_a^2}{2g} \right]^{3/2} \right]$$

Que tiene la misma estructura que se presentó anteriormente para describir el flujo sobre un vertedor rectangular de pared delgada. Si se considera una velocidad de llegada despreciable y se sustituye $\sqrt{g}$ por su valor, ésta se puede escribir:

$$q = 0,1839 bH^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$

b = Ancho de la cresta, en m

H = Carga del vertedero, en m

Que es la forma más usada para calcular el gasto sobre el vertedor rectangular de pared delgada, que es la que tiene la estructura más sencilla.

2.6. Eficiencia del Sistema de Riego

2.6.1. Eficiencia de Conducción (Efc)

La eficiencia de conducción (Efc), está dada por la relación que existe entre el caudal de agua que entra al canal o tramo de canal de derivación (Qe) y el caudal que sale del canal o tramo del canal (Qs) (Arteaga & Bueno, 2014).

La eficiencia de conducción permite evaluar la pérdida de agua en el canal principal desde la bocatoma hasta el punto final del canal principal. Existe casos en que no es factible tener cerrado la compuertas de los canales laterales de distribución L1, L2, L3,..., Ln los mismos que se consideran en la forma de cálculo de la eficiencia de Conducción (MINAGRI, 2015).

Según la FAO (1989), la eficiencia depende principalmente de la longitud de los canales, el tipo de suelo o la permeabilidad de los bancos del canal y la condición de los canales. La Tabla 2 proporciona algunos valores indicativos de la eficiencia de conducción (Ec), considerando la longitud de los canales y el tipo de suelo en el que se excavan los canales. El nivel de mantenimiento no se tiene en cuenta: un mal mantenimiento puede reducir los valores de la Tabla 2 hasta en un 50 %.

Tabla 3. Valores indicativos de la eficiencia de conducción (Ec) para canales adecuadamente mantenidos.

Tipo de suelo	Canales de tierra			Canales forrados
	Arena	Franco	Arcilla	
Longitud del canal				
Largo (> 2000 m)	60 %	70 %	80 %	95 %
Medio (200-2000 m)	70 %	75 %	85 %	95 %
Corto (< 200 m)	80 %	85 %	90 %	95 %

Fuente: FAO, 1989.

Según Núñez (2013), Las pérdidas en un canal se pueden resumir en cuatro formas, a saber:

- Pérdidas por evaporación: usualmente son de poca dimensión y no se toman en cuenta.
- Pérdidas por fugas: se producen por el mal estado de las estructuras, desajustes en las compuertas, empaques viejos, etc. Si no se les da importancia, pueden ser de grandes dimensiones.

- Pérdidas por mal manejo de la operación: se producen por descuidos del personal, que abren las compuertas más de lo debido, o bajan el tirante sin haber terminado el ciclo de riego, etc.
- Pérdidas por infiltración: son las de más importancia; dependen del perímetro mojado, longitud del canal, coeficiente de infiltración y carga hidráulica.

2.6.2. Eficiencia de Distribución (Efd)

Según PSI (2004), la eficiencia de distribución (E_d) está definida por la relación entre el caudal del agua entregada en la cabecera de un canal lateral (V_e) y la sumatoria de los caudales o volúmenes distribuidos en las parcelas, predios o usuarios (V_n).

Se obtiene de todos los canales de distribución de 1er, 2do, 3er, etc, orden, que sirven para distribuir el agua hacia las parcelas o chacras de los usuarios. Mide la pérdida que se produce entre la toma lateral del canal principal, hasta la entrega a los usuarios de una zona de riego (MINAGRI, 2015).

Según PSI (2004), la eficiencia es mayor cuanto mejor sea el estado de los canales y estructuras de distribución. Esto quiere decir:

- Que no haya fugas en las tomas y estructuras de retención, partidores y otros debido a deterioros o daños causados a veces por los mismos usuarios.
- Que se programen uno, dos o tres canales para turno de riego con un caudal suficiente y no todos los canales al mismo tiempo, con caudales muy bajos que originan velocidades muy bajas.

2.6.2.1. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen

Christiansen (1942) citado por (Rivera, 2017) fue el primero en aplicar el concepto de medir la uniformidad de la distribución del agua de un sistema de riego por aspersión. Ese concepto de uniformidad es comúnmente llamado coeficiente de uniformidad de Christiansen (UCC).

Según Calvache (2013), la E_{fd} indica la uniformidad en la distribución del agua aplicada con el riego en el suelo. Si la uniformidad es baja existirá mayor riesgo de déficit de agua en algunas zonas y de filtración profunda en otras. Los diferentes valores del coeficiente de uniformidad pueden interpretarse de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4. Interpretación de los valores de CU.

Coefficiente de uniformidad	Interpretación
> 94 %	Excelente
86-94 %	Bueno
80-86 %	Aceptable
< 80 %	Pobre

Fuente: Vermeiren & Jobling, 1986.

2.6.3. Sobre o sub irrigación

La utilización del agua con fines agrícolas, también se denomina sistema de irrigación, cuyo origen puede ser ríos, lagos o acuíferos. La determinación de sobre o sub irrigación es una forma de indicar como ha influido la distribución de agua en sistema de riego, es decir, que se mostrara el exceso o el déficit de agua en cada parcela dentro de un óvalo.

2.6.3.1. Balance Hídrico

El estudio del balance hídrico en hidrología se basa en la aplicación del principio de conservación de masas, también conocido por nosotros como ecuación de la continuidad. Esta establece que, para cualquier volumen arbitrario y durante cualquier período de tiempo, la diferencia entre las entradas y salidas estará condicionada por la variación del volumen de agua almacenada (Sokolov & Chapman, 1981).

El balance hídrico permite conocer la cantidad de agua que tiene disponible un cultivo en el suelo. El contenido inicial de agua en el perfil del mismo, las precipitaciones y el requerimiento de agua de acuerdo al estado de desarrollo del cultivo (etapa ontogénica) son algunos factores a tener en cuenta. Iniciar este balance supone conocer el agua disponible en el perfil del suelo a la siembra como punto de partida, y se puede seguir su proceso mediante los modelos informáticos como es el caso del Bahicu de INTA Oliveros. Concretamente si quisiéramos estimar las necesidades de riego futuras, por ejemplo de la semana siguiente a la que nos encontremos, se puede utilizar información promedio histórica de precipitaciones y de la evapotranspiración potencial de referencia (ET_o) que podemos obtener de la estación meteorológica más próxima que dispongamos (Saenz, 2014).

El balance hídrico especifica que el total de agua que penetra a un sistema debe ser igual al agua que sale de él más la diferencia entre los contenidos final e inicial: es decir ingreso = egreso + saldo. En el caso de un suelo con vegetación el balance es:

$$P = ET + E + I + (\Delta HS)$$

En donde:

P = Precipitación

ET = Evapotranspiración

E = Escorrentía

I = Infiltración

ΔHS = Cambio en la humedad del suelo ($H_f - H_i$)

H_f = Humedad final

H_i = Humedad inicial

Los balances hídricos se pueden calcular para periodos diarios, decadales o mensuales de acuerdo con las necesidades del caso: mensuales para la identificación de áreas para proyectos de riego y drenaje, decadales para diseños y diarios para operación. Un balance hídrico con intervalos de una década permite individualizar periodos de sequía de una, dos o tres décadas que en ocasiones afectan sensiblemente el rendimiento de los cultivos. El riego integral generalmente se justifica cuando aparece un déficit bien marcado en varios meses durante los cuales no se pueden realizar cultivos sin riego artificial. El balance hídrico con valores climáticos mensuales lo señalará con toda claridad. Para el riego suplementario el déficit requerirá un análisis más detallado en lapsos más cortos para individualizar posibles periodos secos (Claro, 1991).

2.6.3.2. Necesidad Hídrica Mensual

Las necesidades hídricas de los cultivos expresan la cantidad de agua que es necesario aplicar para compensar el déficit de humedad del suelo durante su período vegetativo. Las plantas absorben el agua desde el suelo mediante sus raíces. Ambos, suelo y planta, están sometidos a los efectos de la lluvia, el sol y viento, que generan un mayor o menor grado de evaporación desde el suelo y transpiración de las plantas. Este proceso se conoce como evapotranspiración (Janett, 2014). Este valor se relaciona con el consumo potencial de agua del cultivo y se obtiene multiplicando el coeficiente de transpiración del cultivo con el valor de la ETP para cada período considerado (Claro, 1991).

$$UC = K_c * ETP$$

En donde: UC = Necesidad hídrica del cultivo

K_c = Coeficiente de cultivo

ETP = Evapotranspiración potencial

2.6.3.3. Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

El concepto de evapotranspiración de referencia se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo. Debido a que hay una abundante disponibilidad de agua en la superficie de evapotranspiración de referencia, los factores del suelo no tienen ningún efecto sobre ET. Se pueden comparar valores medidos o estimados de ET, en diferentes localidades o en diferentes épocas del año, debido a que se hace referencia a ET bajo la misma superficie de referencia. Los únicos factores que afectan ET_o, son los parámetros climáticos. Por lo tanto, ET_o es también un parámetro climático que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos. ET_o expresa el poder evaporante de la atmósfera en una localidad y en una época del año. Desde este punto de vista, el método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método de determinación de ET_o, con parámetros climáticos (Santana & Hernández, 2008).

2.6.3.4. Precipitación

La precipitación es, normalmente, la única fuente de humedad que tiene el suelo y por eso conviene que su medida y cálculo se hagan con gran precisión, pues de ello depende, en gran manera, la exactitud de todos los cálculos del balance hídrico (Sokolov & Chapman, 1981).

Este parámetro se debe obtener de las climatológicas que dispongan una serie larga de datos. Los valores pueden tabularse a niveles mensual, decadal o diario, dependiendo de la precisión que se requiera ya sea para áreas con proyectos de identificación, diseño u operación de los sistemas de riego y/o drenaje. Es necesario aclarar que estos valores de precipitación se deben obtener de pluviómetros locales o cercanos al área nos permitan asumir los mismos valores para la zona estudiada. Para el cálculo de los diferentes balances se utilizan ya sea los valores medios de la lluvia o también un umbral determinado de probabilidad de lluvia. La precipitación es un parámetro muy variable, por lo tanto es necesario considerar valores probabilísticos de lluvia asumiendo para la zona estudiada ya sean condiciones húmedas y/o secas y también las condiciones medias. Las series simétricas anuales de precipitación tienden a ser simétricas, mientras que a medida que se acorta el período de tiempo considerado éstas series se vuelven más asimétricas (Claro, 1991).

2.6.3.4.1. Precipitación Efectiva

Desde el punto de vista de producción agrícola, la precipitación efectiva se refiere a la parte de la precipitación que puede ser efectivamente utilizada por las plantas. Esto significa que no toda la precipitación está a disposición de los cultivos, ya que una parte se pierde a través de la Escorrentía Superficial (ES) y de la Percolación Profunda (PP). Cuánta agua se infiltra en realidad

en el suelo depende del tipo de suelo, pendiente, tipo de cultivos, intensidad de la precipitación y el contenido inicial de agua en el suelo. El método más preciso para determinar la precipitación efectiva es a través de observación en campo. La lluvia es altamente efectiva cuando poco o nada se pierde por ES. Bajas precipitaciones son poco efectivas pues se pierden rápidamente por evaporación (Jiménez, 2016).

2.6.3.5. Coeficiente de cultivo (Kc)

El consumo de agua o evapotranspiración que ocurre en una superficie cultivada puede ser estimada a partir de datos meteorológicos (temperatura, humedad relativa, radiación solar, velocidad de viento) empleando el modelo de Penman-Monteith sugerido por la Organización de las Naciones Unidas Para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Las diferencias en evaporación y transpiración del cultivo de referencia con respecto a un cultivo en particular, son integradas en un factor conocido como coeficiente de cultivo (Kc). De este modo, el Kc permite calcular el consumo de agua o evapotranspiración real de un cultivo en particular a partir de la evapotranspiración de referencia (ET_r) a través de: $ET_c = K_c * ET_r$ (SEPOR, 2010).

Factores que determinan el coeficiente.

El Kc considera los elementos que diferencian a cada cultivo del cultivo de referencia, el cual es cubre el suelo completamente y es homogéneo durante toda la temporada. Dado que las características del cultivo varían durante el período de crecimiento, del mismo modo el Kc debe variar (SEPOR, 2010).

- ❖ **Tipo de cultivo:** Debido a las diferencias en albedo, altura del cultivo, propiedades aerodinámicas, así como características de los estomas y hojas de las plantas, se presentarán diferencias entre la evapotranspiración de un cultivo bien desarrollado y regado y la de referencia ET_o (FAO, 2006).
- ❖ **Clima:** Las condiciones climáticas tienen vital importancia en los valores de coeficiente de cultivo, debido a que las variaciones en la velocidad del viento afectan el valor de la resistencia aerodinámica de los cultivos. En condiciones de una mayor aridez climática y de una mayor velocidad del viento, los valores de Kc aumentan. Por otro lado, en climas húmedos y en condiciones de velocidades del viento bajas, los valores de Kc disminuyen (GEAHH, 2015).
- ❖ **Evaporación del suelo:** Cuando el cultivo cubre completamente el suelo la evapotranspiración es principalmente la transpiración del cultivo. Cuando la relación de cobertura es menor, la evaporación del suelo cobra importancia, especialmente en

cultivos pequeños con menos enraizamiento en los que la superficie del suelo debe estar húmeda con mayor frecuencia (CNR, 2016).

- ❖ **Etapas de crecimiento:** Este período de crecimiento puede ser dividido en cuatro etapas: inicial, de desarrollo del cultivo, de mediados de temporada y de final de temporada.

Etapas Inicial: La etapa inicial está comprendida entre la fecha de siembra y el momento que el cultivo alcanza aproximadamente el 10% de cobertura del suelo.

Etapas de desarrollo del cultivo: La etapa de desarrollo del cultivo está comprendida desde el momento en que la cobertura del suelo es de un 10% hasta el momento de alcanzar la cobertura efectiva completa.

Etapas de mediados de temporada: La etapa de mediados de temporada comprende el período de tiempo entre la cobertura completa hasta el comienzo de la madurez. En esta etapa el K_c alcanza el valor máximo.

Etapas de finales de temporada: La etapa final o tardía de crecimiento comprende el período entre el comienzo de la madurez hasta el momento de la cosecha o la completa senescencia. Se asume que el cálculo de los valores de K_c y ET_c finaliza cuando el cultivo es cosechado, secado al natural, alcanza la completa senescencia o experimenta la caída de las hojas (FAO, 2006).

2.6.4. Métodos de Riego

- a) **Riego por superficie.** - El riego por superficie es el método de riego más antiguo del mundo. El riego por superficie es un sistema de riego donde el agua fluye por gravedad, utilizándose la superficie del suelo agrícola como parte del sistema de distribución del agua (UCLM, 2001). Existen varias formas de regar por superficie:
 - Riego por surco.
 - Riego por melga.
 - Riego tendido.
- b) **Riego presurizado.** - En estos sistemas de riego el agua se conduce a presión por tuberías y laterales de riego hasta las plantas, donde es aplicada desde emisores en forma de gotas (goteo) o de fina lluvia (microaspersión). También permiten la aplicación de fertilizantes junto con el agua de riego (fertirrigación). Presentan una alta eficiencia de aplicación (90-95%) del agua de riego y para su instalación, por lo general, no necesitan de gran preparación del terreno por lo que se pueden emplear en terrenos con pendientes fuertes, sin necesidad de nivelación (Oviedo & Liotta, 2013). Existen varias formas del riego:

- Riego por goteo.
- Riego por aspersión.
- Riego por micro aspersión.

2.6.5. Agronomía del Riego

2.6.5.1. Frecuencia de riego

La técnica más extendida para realizar un adecuado manejo del agua en la agricultura bajo riego es la programación de riego, la cual identifica el momento y la cantidad de agua que se ha de aportar al cultivo en cada riego y cuyo manejo se puede realizar en base a diferentes criterios agronómicos como maximizar la producción total de la explotación agrícola, lograr el máximo beneficio económico (Otero *et al.*, 2017).

2.6.5.2. Tiempo de riego

Es el tiempo que dura la aplicación de agua a la parcela de riego. El tiempo de riego es una variable de diseño y manejo del riego con la que se determina la duración de la aplicación de agua. Es muy flexible y fácilmente modificable por el agricultor, que podrá decidir si regar más o menos tiempo dependiendo de sus necesidades (Fernández *et al.*, 2010). Las fases del riego están separadas por los tiempos característicos, en los que se producen ciertas singularidades del riego (Faci & Playan, 1994).

Estos tiempos son:

- Tiempo del inicio del riego (ti). Es el tiempo en el que comienza a entrar agua al tablar o surco.
- Tiempo de avance (tl). Es el tiempo en el que el agua cubre la totalidad del tablar o llega al final del surco.
- Tiempo de corte (tc). Es el tiempo en el que deja de entrar agua al tablar o surco.
- Tiempo de vaciado (tv). Es el tiempo en el que una parte del tablar o surco queda al descubierto después de infiltrarse todo el agua o desplazarse hacia otras zonas.
- Tiempo de receso (tr). Es el tiempo en que desaparece el agua de toda la superficie del tablar o surco.

2.6.5.3. Volumen de aplicación en parcela

La cantidad de agua que necesitan las plantas para su desarrollo y crecimiento está relacionada con factores del suelo, del clima y de la propia planta. Para que el agricultor los tenga en cuenta y le ayuden a tomar decisiones sobre cuándo regar y la cantidad de agua a emplear (MINAGRI, 2015).

- A. EL SUELO: Para ver cómo influye el suelo en la cantidad de agua que necesitan los cultivos, es importante conocer algunas características del suelo, como los componentes y la textura.
- B. TEXTURA: La parte sólida del suelo está formada por una mezcla de tres tipos de partículas: arena, limo y arcilla cada una tiene diferentes características químicas y físicas.
- C. EL CLIMA: Las características del clima que afectan la cantidad de agua que necesitan las plantas son la radiación, la temperatura, el viento y las precipitaciones.
- D. EL CULTIVO: Existen numerosos factores propios de cada cultivo que influyen en la cantidad de agua que necesitan para un óptimo desarrollo, siendo los más importantes el sistema radicular y el follaje (MINAGRI, 2015).

2.6.5.4. Volumen diario de aplicación del agua

Según (Tarjuelo, 2016) el riego es un aporte de agua para compensar las irregularidades y también las insuficiencias de las precipitaciones naturales. La cantidad de agua a aplicar varía en función del clima (medido por la evapotranspiración), del suelo (por los problemas de percolación) y de la naturaleza de la planta.

Fórmula para calcular la dosis (lt/día/planta)

$$[S \text{ (m}^2\text{)} \times \text{ETP (mm día}^{-1}\text{)} \times F] / 0,9$$

Explicación de los elementos de la fórmula

S es la superficie del vegetal (la superficie de la corona foliar o su diámetro, aquella que resulte mayor en volumen). El clima es uno de los datos fundamentales para conocer las necesidades de agua. Las investigaciones en este campo han dado como resultado fórmulas de demanda de agua a partir de datos climáticos. Esta demanda de agua, dependiendo del clima del lugar, es la llamada evapotranspiración, que no depende ni del suelo ni de la planta (Tarjuelo, 2016).

Este autor también sostiene que la **ETP** se mide en milímetros (de altura de agua) por día. Es un valor que viene dado por las estaciones meteorológicas y debe considerarse la máxima en verano (julio) que suele ser de 5 a 10 milímetros. Esta ETP representará la cantidad de agua necesaria para asegurar en un vegetal en plena actividad, un desarrollo óptimo. Las precipitaciones más el riego deberán cubrir este valor.

F es el factor planta o factor de corrección que se aplica según el tipo de vegetal. Por ejemplo: 1 para plantas, 0,8 para árboles o 0,35 para xerófilas (cactus, etc.) que precisan de menos agua. El dato de 0,9 es la eficiencia de riego. Se considera que el 90 % del agua es utilizada realmente por la planta. (Tarjuelo, 2016).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características del sitio experimental

La investigación se realizó en el ramal Alangasí - La Merced perteneciente al Sistema de Riego Tumbaco, la red del ramal se encuentra distribuida en las parroquias de Alangasí y La Merced pertenecientes al cantón Quito.

3.1.1. Ubicación política del sitio

País:	Ecuador
Provincia:	Pichincha
Cantón:	Quito
Parroquias:	Alangasí La Merced
Ramal:	Alangasí - La Merced

3.1.2. Ubicación geográfica del sitio experimental

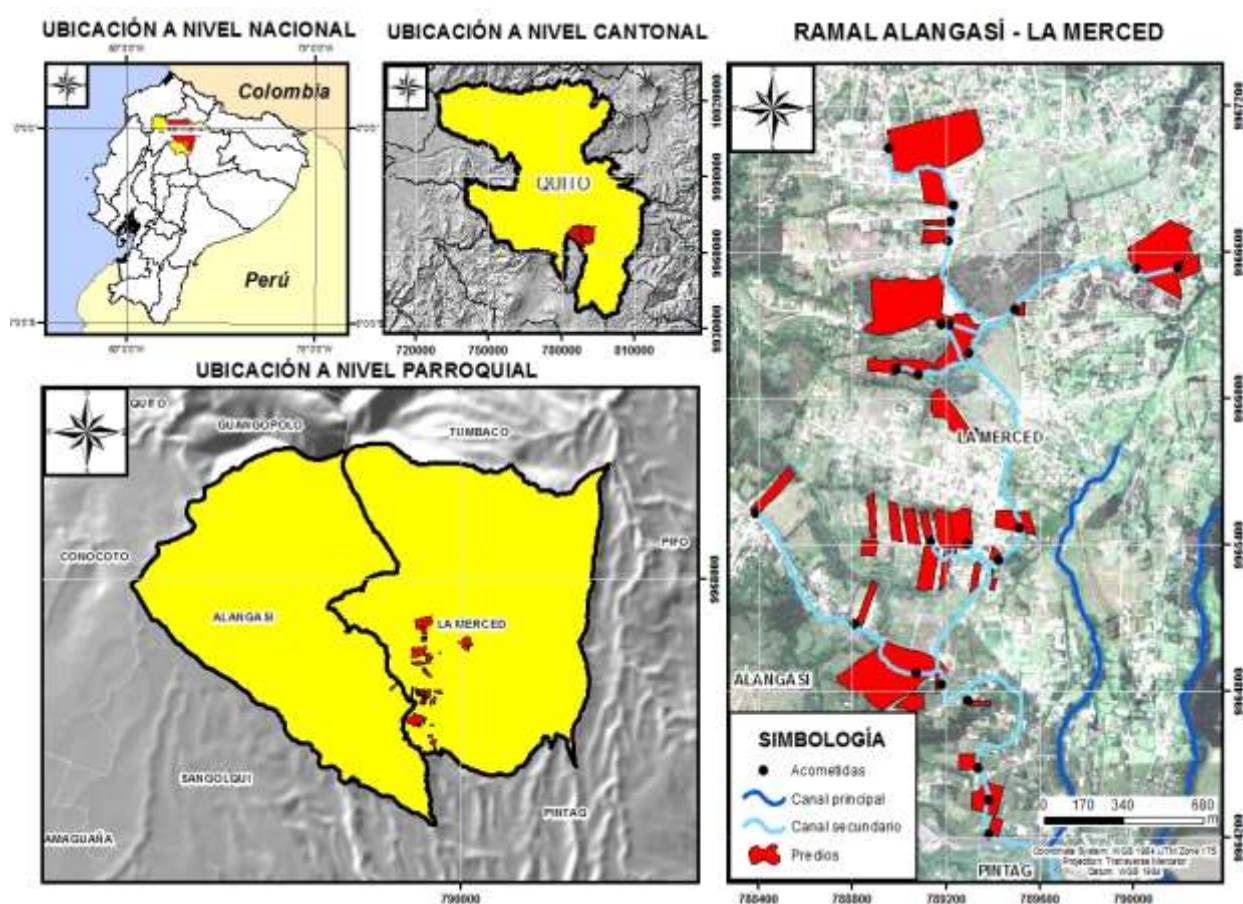


Figura 3. Ubicación del sitio experimental.

El ramal Alangasí-La Merced, está limitada por las siguientes coordenadas UTM:

Altitud: 2 598 m msnm

	Longitud (X)	Latitud (Y)
Norte: Tumbaco y Guangopolo	789 322	9 967 188
Sur: Sangolquí y Píntag	789 326	9 963 444
Este: Pifo	788 334	9 965 533
Oeste: Conocoto	790 364	9 965 460

3.1.3. Descripción del sitio experimental

El estudio se realizó en uno de los siete ramales perteneciente a la Junta de Regantes de Tumbaco específicamente en el ramal La Merced, según el catastro del sistema de riego Tumbaco del 2017 este ramal se encuentra ubicado en las parroquias de Alangasí y La Merced, cuenta en su padrón 36 usuarios, y una superficie de 47.46 ha donde se asienta la red principal del ramal. Las áreas beneficiadas del ramal Alangasí-La Merced comprende: la Floresta, la Concepción, la Cocha, Huertos Familiares La Floresta, Curiquingue, la Merced II, las Palmeras y las Palmeras II.

3.1.4. Características climáticas

El clima es característico de la zona interandina, la temperatura oscila entre los 14.60° C hasta los 16.72° C, a una altitud de territorio de 2598 msnm, con mínimas entre 14.10° C y 14.90° C, y máximas entre 16.10° C a 17.30° C. La precipitación fluctúa entre 128 y 111 mm, que se reparten en dos periodos lluviosos: el primero, entre el mes de marzo y el segundo en noviembre. La primera estación seca en julio y agosto (GAD Alangasí, 2015).

3.1.5. Características Edáficas

La mayor parte del territorio de la parroquia está constituido por suelos tipo molisoles en un 57.60 %, que son suelos oscuros y suaves que se han desarrollado bajo una vegetación herbácea; estos suelos tienen un horizonte superficial abundante en humos, que es rico en calcio y en magnesio; Los Entisoles son suelos jóvenes que se dan en planicies de inundación u otros depósitos recientes, en la parroquia constituyen un 24.89 %; y en un 17.51 % son suelos con afloramiento de cangahua. En los suelos más planos se localizan o están asentadas áreas pobladas consolidadas y en proceso de urbanización (GAD La Merced, 2015).

3.2. Material Experimental

Para esta investigación se utilizaron los siguientes materiales:

3.2.1. Insumos

- Cartografía básica de Tumbaco en formato shapefile, con sistema de referencia WGS 1984 UTM Zona 17 S.

- Cartografía digital formato shapefile del canal primario, canales secundarios, y canales terciarios del sistema de riego Tumbaco (coordenadas UTM).
- Cartografía analógica de los predios y zonas de influencia de los ramales del Sistema de Riego Tumbaco, sin fecha conocida (escala 1:50000, sistema de referencia WGS 1984 UTM Zona 17 S).
- Padrón de usuarios del ramal La Merced de la JRT

3.2.2. Equipos

- Medidor Parshall
- Medidor Vertedero rectangular
- Cronómetro
- Equipo GPS
- Cámara fotográfica
- Grabadora
- Ordenador e impresora

3.2.3. Software

- Software ArcGis 10.5
- Microsoft office

3.2.4. Materiales de oficina

- Cuaderno universitario
- Libreta pequeña
- Tablero plástico
- Fichas de registro de datos
- Hojas de entrevistas
- Esferos
- Lápicos
- Regla
- Calculadora científica

3.3. Métodos

Para el presente estudio en el ramal Alangasí-La Merced se ejecutó en 3 fases metodológicas que se especifican a continuación: levantamiento de información, de campo y finalmente la de

procesamiento y análisis. En la Tabla 4 se describe el esquema cronológico de las fases programadas.

Tabla 5. Fases de la investigación

Fases de la investigación	Objetivo	Método
1. Levantamiento de información	Recopilar información del Padrón de usuarios de la JRT y catastro 2017	Se levantó la información de los usuarios y de la infraestructura de sistema
2. De campo	Observar y recorrer todo el ramal para una mejor selección de los puntos de monitoreo Realizar la medición para los caudales (cm) en las secciones del ramal secundario y en las entradas a los usuarios Entrevistar a los usuarios sobre la operación y la infraestructura del ramal	Mediante una visita de observación se verificó las secciones ideales y las entradas de los usuarios. Se midió los caudales con el canal Parshall de en 3 secciones del canal y para los caudales de las entradas en cada usuario se empleara un vertedero rectangular
3. Procesamiento y análisis	Procesar los datos obtenidos de los caudales y de las eficiencias Analizar las eficiencias obtenidas en el ramal y la sobre o sub irrigación de los usuarios del óvalo seleccionado	Mediante fórmulas ya establecidas se procedió a calcular las eficiencias de conducción y distribución del ramal Se determinó si los usuarios presentan sobre o sub irrigación con los turnos de riego mediante una matriz

3.3.1. Fase de levantamiento de la información

En esta fase se recopiló la información necesaria para la ejecución de la investigación, se procedió a realizar una visita en las oficinas de la Junta de Riego Tumbaco ubicado en el Centro de Tumbaco entre las calles Zoila Carrera y Antonio José de Sucre. En las oficinas de esta institución se adquirió información sobre el padrón de usuarios, turnos de riego, el estatuto y reglamento

vigente de la Junta de riego Tumbaco mediante un oficio dirigido al presidente de la JRT el ingeniero Juan Pablo Hidalgo.

En primera instancia se reunió información secundaria relevante del área de estudio, especialmente del último levantamiento catastral realizado por la UCE-FCA, con la información geográfica y temática (formato Shp) de todos los ramales, y utilizando las herramientas del Software ArcGis, se seleccionó y recortó toda la información temática y geográfica del ramal como la infraestructura, los elementos hidráulicos y predios de los usuarios.

3.3.2. Fase de campo

- **Visita de Observación**

Se realizó una visita preliminar de observación para recorrer todo el ramal Alangasí-La Merced, una vez realizado el reconocimiento del ramal se procedió hacer un diagnóstico sobre el estado actual que presenta la red del sistema y también a cada uno de los óvalos que la conforman, con el fin de reconocer el área de estudio, el estado actual de la infraestructura y la operación que realiza la Junta de Riego Tumbaco mediante el canalero y el presidente de óvalo.

La visita fue realizada en el mes de diciembre del 2018 donde se seleccionaron las secciones del canal secundario que no tengan entradas y salidas de agua para realizar las mediciones respectivas de la eficiencia de conducción, para las 3 secciones se tomó en cuenta las siguientes consideraciones: tramo de más o menos 10 (m) de largo, debe ser recto y sin curvas, con el mismo tipo de infraestructura, el flujo de agua debe ser homogéneo y apto para la instalación del canal Parshall. Las tres secciones elegidas fueron establecidas previamente así: la primera sección (S1) al principio del canal, la segunda sección (S2) en el centro del canal y la tercera sección (S3) ubicada en el final del canal.

Para la eficiencia de distribución se empleó el padrón de usuarios para constatar las personas que son usuarios y conocer el óvalo al que pertenecen, y mediante el software ArcGis se identificó los predios de cada usuario dentro de la zona de estudio. También se seleccionaron los puntos de monitoreo para cada usuario, estos puntos eran las acometidas de cada predio y se consideró los siguientes aspectos: el canal terciario y la entrada del usuario debe ser apta para la instalación del vertedero y su flujo de agua debe ser homogéneo.

- **Medición de caudales**

Para la determinación de la eficiencia de conducción del canal secundario se tomó en cuenta las secciones seleccionadas anteriormente en la visita, en cada sección se midió el caudal del principio (entrada) y del final (salida) cumpliendo el siguiente proceso:

- 1) Se observó el estado y la condición en que se encuentra el canal.
- 2) Se verificó que la sección no tenga entradas y salidas de agua.
- 3) Se realizó la limpieza en cada sección quitando las hierbas, basuras y el lodo del fondo.
- 4) Se instaló el canal Parshall en dentro del ramal, asegurando que exista fugas de agua por los costados.
- 5) Se registró tres lecturas de la carga hidráulica en centímetros cada 10 minutos en cada punto de cada sección.

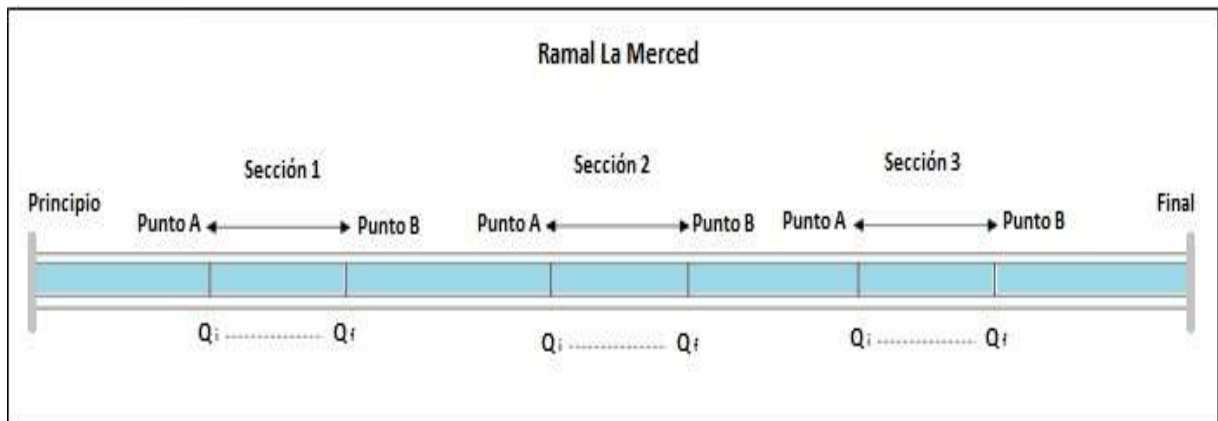


Figura 4. Puntos de monitoreo de la Eficiencia de Conducción.

La medición del caudal en los diferentes puntos en las tres secciones sirvió para determinar la eficiencia de conducción del ramal y la determinación del caudal de entrada que tiene el ramal para distribuir a los usuarios de la zona.

Para la determinación de la eficiencia de distribución se tomó en cuenta el padrón de usuarios de la JRT para conocer el óvalo donde haya un número moderado de usuarios, y se seleccionó los óvalos 4-5. En cada entrada (acometida) se midió el caudal que entra al usuario desde el canal terciario cumpliendo el siguiente proceso:

- 1) Se observó el estado y la condición en que se encuentra la entrada de agua.
- 2) Se verificó que en la entrada no exista entradas y salidas de agua.
- 3) Se limpió el canal quitando las hierbas, basuras y el lodo para que quede a nivel.
- 4) Se instaló el vertedero fijamente, asegurando que exista fugas de agua por los costados.
- 5) Se tomó el dato de la carga hidráulica en el vertedero y se realizó tres repeticiones cada 5 minutos.

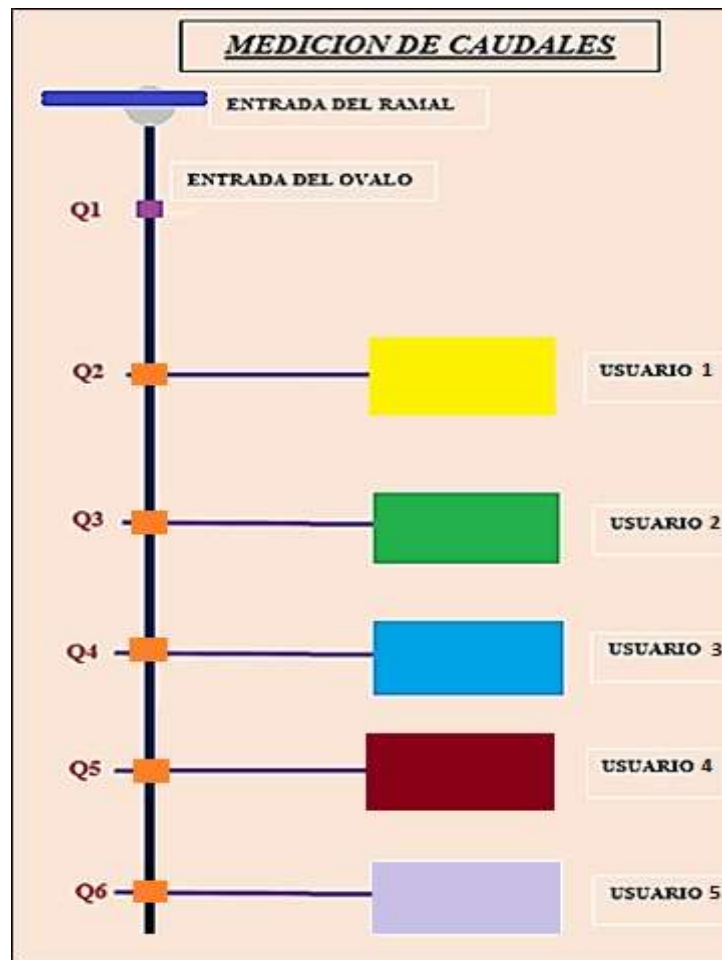


Figura 5. Puntos de monitoreo de la Eficiencia de Distribución.

La medición del caudal en las diferentes entradas de cada usuario sirvió para determinar la eficiencia de distribución de los óvalos, y mediante una entrevista a los usuarios se levantó información de la operación, mantenimiento y de los cultivos que posee en su predio (Anexo 7), con esto se determinó la sobre o sub irrigación.

Medidor Parshall

Para realizar con mayor facilidad las mediciones de los caudales para las 3 secciones se empleó una infraestructura denominada “Medidor Parshall”. Para este ramal se utilizó el parshall de 9”, debido a que el caudal que atraviesa en el canal varía entre de 3 y 251 l s⁻¹. El medidor fue construido en base de hierro y metal reforzado de acuerdo a las dimensiones estandarizadas en función del caudal. Por lo tanto, está estructura proporcionó una medición del caudal con mayor precisión, y la carga hidráulica fue registrada en centímetros. Se aplicó la siguiente formula de acuerdo a la dimensión del medidor:

$$Q = 0.013762 Ha^{1.53}$$

Donde:

Q: Caudal del canal (l s^{-1})

Ha: Carga hidráulica (mm)

La medida de carga H es necesaria para conocer el caudal, en este punto se mide el tirante de agua con una regla o se instala junto a la pared una escala para lecturas.

Vertedero rectangular

El vertedero permitió calcular el caudal que fluye por el óvalo y los usuarios, para ello fue importante saber cuál es el caudal mínimo y máximo que puede atravesar dicho canal, esta información ayudó a la construcción del vertedero rectangular. En este caso las dimensiones del vertedero construido fueron de 30 cm x 40 cm, pues de acuerdo a la junta de regantes las acequias poseen un ancho inferior a los 50 cm. Por lo tanto, esta estructura proporcionó una medición del caudal con mayor precisión, y la carga hidráulica fue identificada en centímetros. Para el cálculo se empleó la siguiente formula:

$$q = 0,1839 bH^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal que fluye por el vertedero, en (l s^{-1})

b = Ancho de la cresta del vertedero, en (m)

H = Carga del vertedero, en (m)

La eficiencia de riego en el sistema se determinó con el coeficiente de uniformidad (CU), que se define con la siguiente expresión:

$$CU = \frac{q_{25\%}}{q_a}$$

Donde:

CU: Coeficiente de uniformidad

q25: Volumen medio recibido por el 25 % de los emisores que reciben menos caudal en la prueba

qa: Volumen medio de los emisores evaluados en la prueba de campo

3.3.3. Fase de procesamiento y análisis.

En esta fase se emplea los datos obtenidos de las mediciones de las cargas hidráulicas, tanto del canal Parshall como del vertedero rectangular para comenzar a determinar las diferentes eficiencias del ramal. Una vez que se obtuvo los caudales en (l s^{-1}), se procedió a ingresar los datos

a una tabla de Microsoft Excel ya programada con sus fórmulas respectivas eficiencias de un sistema de riego, mediante este proceso existió un avance más rápido del procesamiento.

Las fórmulas empleadas para la determinación de las diferentes eficiencias en las tablas fueron las siguientes:

3.3.1.1. Eficiencia de conducción del canal secundario

La eficiencia de conducción se determinó en función de los caudales medidos en cada sección del ramal (Figura 4).

$$Efc1 = \frac{Q2}{Q1} * 100$$

$$Efc2 = \frac{Q2}{Q1} * 100$$

$$Efc3 = \frac{Q2}{Q1} * 100$$

Donde: Efc = Eficiencia de conducción, en (%)

Q1 = Caudal de entrada de la sección, en (l s⁻¹)

Q2 = Caudal de salida de la sección, en (l s⁻¹)

La interpretación de las eficiencias de conducción en el canal secundario se basó en el tipo de canal y la longitud establecidos por la FAO (Tabla 2).

3.3.1.2. Eficiencia de conducción del óvalo

La eficiencia de conducción del canal terciario se determinó mediante el cálculo del caudal de ingreso al óvalo para el caudal de cada usuario del óvalo, tomando en cuenta la cantidad de caudal por usuario en todo el óvalo (Figura 5).

$$Efc1 = \frac{Q1}{Q0} * 100, \frac{Q2}{Q0} * 100, \frac{Q3}{Q0} * 100 \dots \frac{Q11}{Q0} * 100$$

Donde: Efc1 = Eficiencia de conducción, en (%)

Q = Caudal que ingresa al usuario (l s⁻¹)

3.3.1.3. Eficiencia de distribución del óvalo 4-5

Para el cálculo de la eficiencia de distribución del óvalo se empleó la siguiente metodología:

1. Se ordenó de mayor a menor los valores de los volúmenes de entrega por hectárea.
2. Se calculó el volumen entregado promedio.
3. Se calculó el volumen promedio del 25% de los volúmenes menores.
4. Se utilizó la fórmula propuesta por Christiansen, 1942:

$$Efd (\%) = \frac{V_{25\%}}{V_m} * 100$$

Donde:

Efd: Uniformidad de distribución (%)

$V_{25\%}$: Volumen por hectárea promedio del 25% de los valores más bajos ($m^3 ha^{-1}$)

V_m : Volumen por hectárea promedio ($m^3 ha^{-1}$)

La interpretación de la eficiencia de distribución se basó en la Tabla 3, de esta manera de conoció la uniformidad de distribución del agua de riego a nivel parcela dependiendo del volumen de entrega.

Para la eficiencia de distribución del óvalo se tomó en cuenta la percepción de los usuarios del sistema de riego y se realizó unas entrevistas para conocer como es el manejo y operación del óvalo y la distribución del agua a los usuarios.

3.3.1.4. Sobre o sub irrigación

Para determinar si en el óvalo 4-5 existe sobre o sub irrigación, se determinó el tiempo de riego para cada usuario en función del tiempo de riego calculado y del tiempo de riego asignado en el turno. Para el análisis del óvalo se tomó en cuenta el caudal de entrega, la superficie cultivable, el tipo de cultivo, el tiempo de riego y la necesidad hídrica de cada cultivo.

Necesidad hídrica mensual

La necesidad hídrica mensual, toma en cuenta parámetros de precipitación efectiva y evapotranspiración real de los cultivos, que se encontró en el óvalo seleccionado, de esta manera se opera el balance hídrico para conocer las necesidades hídricas de los cultivos, utilizando la siguiente fórmula (Ortiz, 2017).

$$NHM = Pe + DH - ETr$$

Donde:

NHM: Necesidad hídrica mensual (mm)

Pe: Precipitación efectiva mensual (mm)

DH: Aporte de humedad de precipitaciones anteriores (mm)

ETr: Evapotranspiración real mensual (mm)

Si NHM es mayor que 0.0, se dice que en el período analizado hay un exceso, mientras que cuando NHM es menor que 0.0 se dice que existe un déficit de humedad; este déficit de humedad corresponde a la necesidad hídrica del cultivo para el período en estudio.

Necesidad Hídrica Diaria

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos elaboró un procedimiento de cálculo en base a la máxima necesidad del cultivo durante su ciclo vegetativo y la dosis o lámina de riego neta.

$$NHD = 0.034 * \frac{NHM^{1.09}}{Ln^{0.09}}$$

Donde:

NHD: Necesidad hídrica diaria en el período de punta (mm d⁻¹)

NHM: Necesidad hídrica máxima mensual (mm)

Ln: Lámina neta (mm)

Lámina neta

La fórmula para calcular la lámina neta es:

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

Donde:

Ln: Lámina neta (mm)

p: Porcentaje máximo de agotamiento de agua en el suelo (decimal)

CC: Capacidad de campo (porcentaje)

MP: Punto de marchitamiento (porcentaje)

pr: Profundidad radicular efectiva del cultivo (mm)

Lámina total.

La determinación de la lámina total que el canal de riego provee a la parcela mediante los ramales, se calculó por medio de la siguiente formula (Ortiz, 2017).

$$LT = \frac{NHD * Fr}{Efa}$$

Donde:

LT: Lámina total (mm)

NHD: Necesidad hídrica diaria ponderada (mm)

Fr: Frecuencia de Riego

Efa: Eficiencia de aplicación

Necesidad hídrica ponderada

Según Ortiz (2017), la fórmula para calcular la necesidad hídrica pondera es:

$$NHDp = \frac{NHD - C_1 * A_1 + \dots + NHD - C_n * A_n}{AT}$$

Donde:

NHDp: Necesidad hídrica diaria ponderada (mm d⁻¹)

NHDC: Necesidad hídrica diaria del cultivo (mm d⁻¹)

A1: Área del cultivo 1 (m²)

AT: Área total del agricultor (m²)

Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Se determinó la evapotranspiración potencial o de referencia, mediante el método del tanque evaporímetro:

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

Donde:

ET_o: Evapotranspiración potencial (mm mes⁻¹)

k_p: Coeficiente del tanque evaporímetro

E_o: Evaporación promedio mensual (mm mes⁻¹)

Coeficiente de cultivo “K_c”

El Procedimiento para determinar los valores del coeficiente de cultivo se basó en la metodología de la FAO (boletín No. 56) (SEPOR, 2010).

Evapotranspiración real (ET_r) o uso consuntivo

Según FAO (2006), la ET_r se determina con la siguiente fórmula:

$$ET_r = K_c \times ET_o$$

Donde:

ET_r: Evapotranspiración real del cultivo mensual (mm)

K_c: Coeficiente del cultivo

ET_o: Evapotranspiración potencial mensual (mm)

Volumen de agua.

El volumen de agua que se entrega al agricultor se determinó con la siguiente fórmula (Ortiz, 2017):

$$V = \frac{10 * LT * A}{10000}$$

Donde:

V: Volumen total (m³)

LT: Lamina total (mm)

A: Área de la parcela (m²)

La determinación de la lámina total, la necesidad hídrica diaria, el volumen de agua y el tiempo de riego permitió conocer el tiempo de entrega de agua al usuario, y si este caudal establecido por los miembros de la junta es adecuado o no para la superficie de parcela de cada agricultor.

Tiempo de riego (h)

El tiempo de riego se calculó con la siguiente fórmula (Ortiz, 2017).

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

Donde:

T: tiempo en horas (h)

V: volumen de riego calculado (m³)

Q: Caudal por hectárea (l s⁻¹)

Para la determinación de la sobre y sub irrigación de los usuarios se basarán en 2 condiciones, las cuales se detalla de la siguiente manera:

Si el Tcalculado < Turno del padrón = Sub irrigación.

Si el Tcalculado > Turno del padrón = Sobre irrigación

Para realizar los anteriores cálculos detallados más rápidos y precisos se realizó mediante una matriz en Microsoft Excel, para la matriz se necesitó los siguientes datos: cultivos de cada usuario, frecuencia de riego, textura del suelo, sistema de riego, área del cultivo y el caudal que ingresa al usuario.

Una vez ingresado todos los datos requeridos se obtendrán los valores del tiempo de riego máximo y también el tiempo de riego del mes agosto. Con estos dos datos obtenidos más el dato del turno de riego otorgado por la junta de riego se procederá a determinar si existe un sobre o sub irrigación en el predio de cada usuario del óvalo.

3.3.1.5. Entrevistas

Se levantó la información de los usuarios mediante una entrevista con los usuarios de los óvalos 4-5, con la finalidad de adquirir información sobre:

- La situación actual del ramal.
- La organización, la operación, y distribución del agua de riego en los predios.
- La superficie del predio, el área de los cultivos, y los problemas frecuentes que ocurren en la distribución del agua.

La información permitió determinar cuáles son los factores que afectan su distribución y los problemas que atraviesan los usuarios.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Caracterización del ramal la Merced

Ubicación

El ramal Alangasí - La Merced está ubicado en las Parroquias de Alangasí y La Merced, es un ramal que forma parte del Sistema de Riego Tumbaco, posee una superficie de 47.46 ha, y una superficie regable de 10.87 ha. El ramal está conformado por cinco óvalos a lo largo del canal secundario, como se observa en la Figura 6.

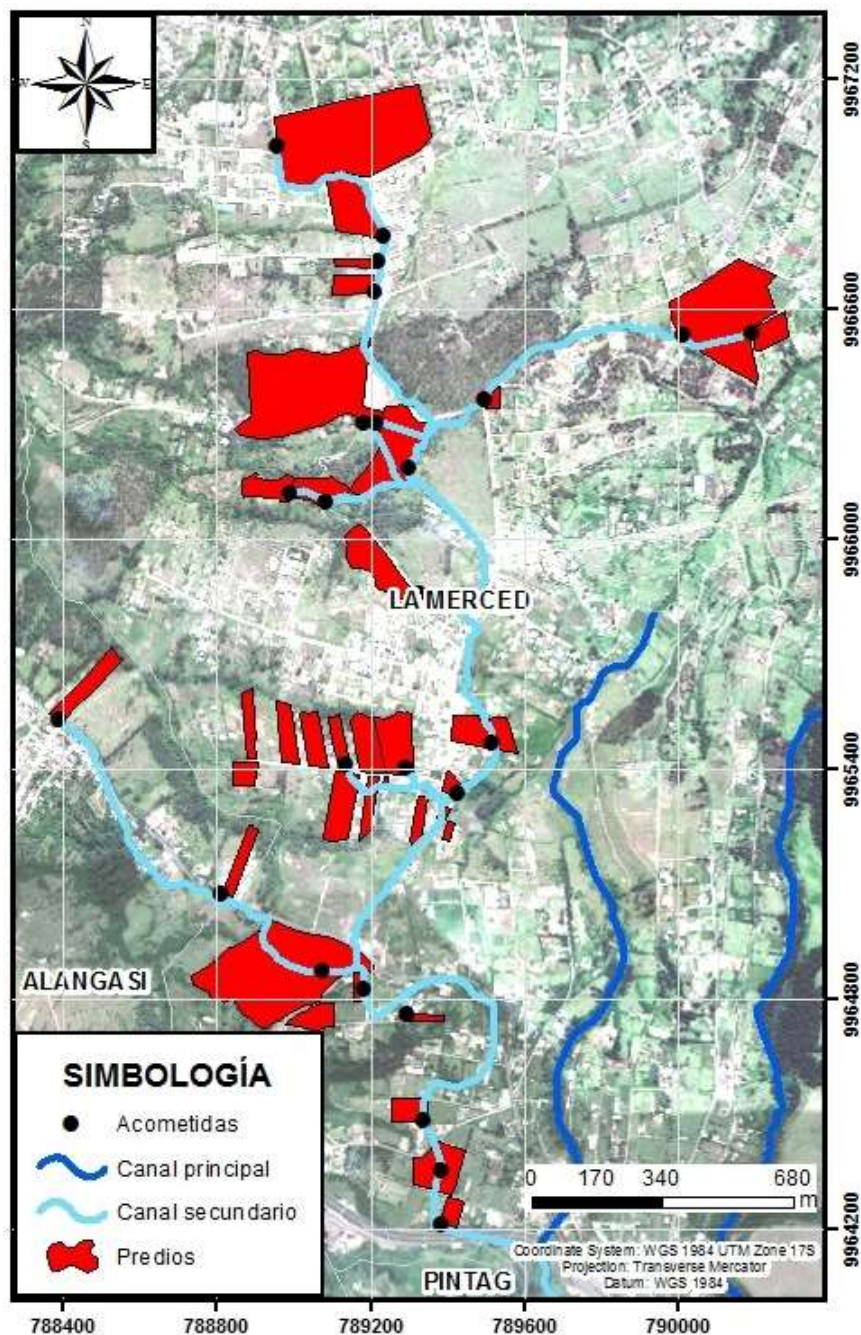


Figura 6. Ramal Alangasí - La Merced en el sistema de riego Tumbaco.

La Facultad de Ciencias Agrícolas con la Junta de Riego Tumbaco realizó estudios previos con la finalidad de actualizar el catastro del sistema de riego, según el levantamiento catastral el ramal Alangasí - La Merced registra un total de 36 usuarios. Del total de usuarios 23 usuarios poseen un estatuto activo, 11 son inactivos y 2 usuarios corresponden a nuevos como lo detalla la Tabla 5.

Tabla 6. Usuarios en el ramal Alangasí - La Merced.

Ramal	Estatuto	Cantidad
La Merced	Activo	23
	Inactivo	11
	Nuevo	2
Total		36

Fuente: Catastro del sistema de riego Tumbaco, 2017

Infraestructura

El ramal Alangasí - La Merced presente una longitud total de 9 491.60 m, el cual tiene diferentes tipos de infraestructuras distribuidas de la siguiente manera: 4 063.10 m pertenecen al tipo canal abierto, 412.73 m pertenecen al tipo de canal embaulado, 2 149.88 m pertenecen al tipo de canal entubado, 2 283.61 m pertenecen al tipo de canal revestido, 582.28 m pertenecen al tipo de túnel. De las cuales el de mayor porcentaje de infraestructura es de tipo abierto (tierra), y el de menor porcentaje es de tipo embaulado, y debido a la falta de mantenimiento parte de la infraestructura se encuentra deteriorándose y eso incide mucho a la hora de la operación de la distribución del agua. Los datos mencionados se detallan en la Tabla 6.

Tabla 7. Infraestructura del ramal Alangasí - La Merced.

Infraestructura	Longitud (m)	Porcentaje (%)
Abierto	4063.10	42.81
Embaulado	412.73	4.35
Entubado	2149.88	22.65
Revestido	2283.61	24.06
Túnel	528.28	6.13
Total	9491.60	100

Fuente: Catastro del sistema de riego Tumbaco, 2017

Problemática del ramal Alangasí - La Merced

El ramal Alangasí - La Merced, es el primer ramal en captar el agua del sistema de riego. Inicia en la Hacienda El Refugio, en la actualidad la compuerta no cuenta con el adecuado mantenimiento, puesto que su infraestructura no ha sido renovada (Anexo 2). Las características relevantes del canal son:

Zonas beneficiadas por el ramal

A través de un recorrido se conoció las zonas beneficiadas por el ramal Alangasí - la Merced, y también los problemas presentes en el ramal. El ramal comprende zonas como: la Floresta, la Concepción, la Cocha, Huertos Familiares La Floresta, Curiquingue, la Merced II, las Palmeras y las Palmeras II. En la Figura 7 se observa el mapa de ubicación de las zonas beneficiadas por el sistema de riego.

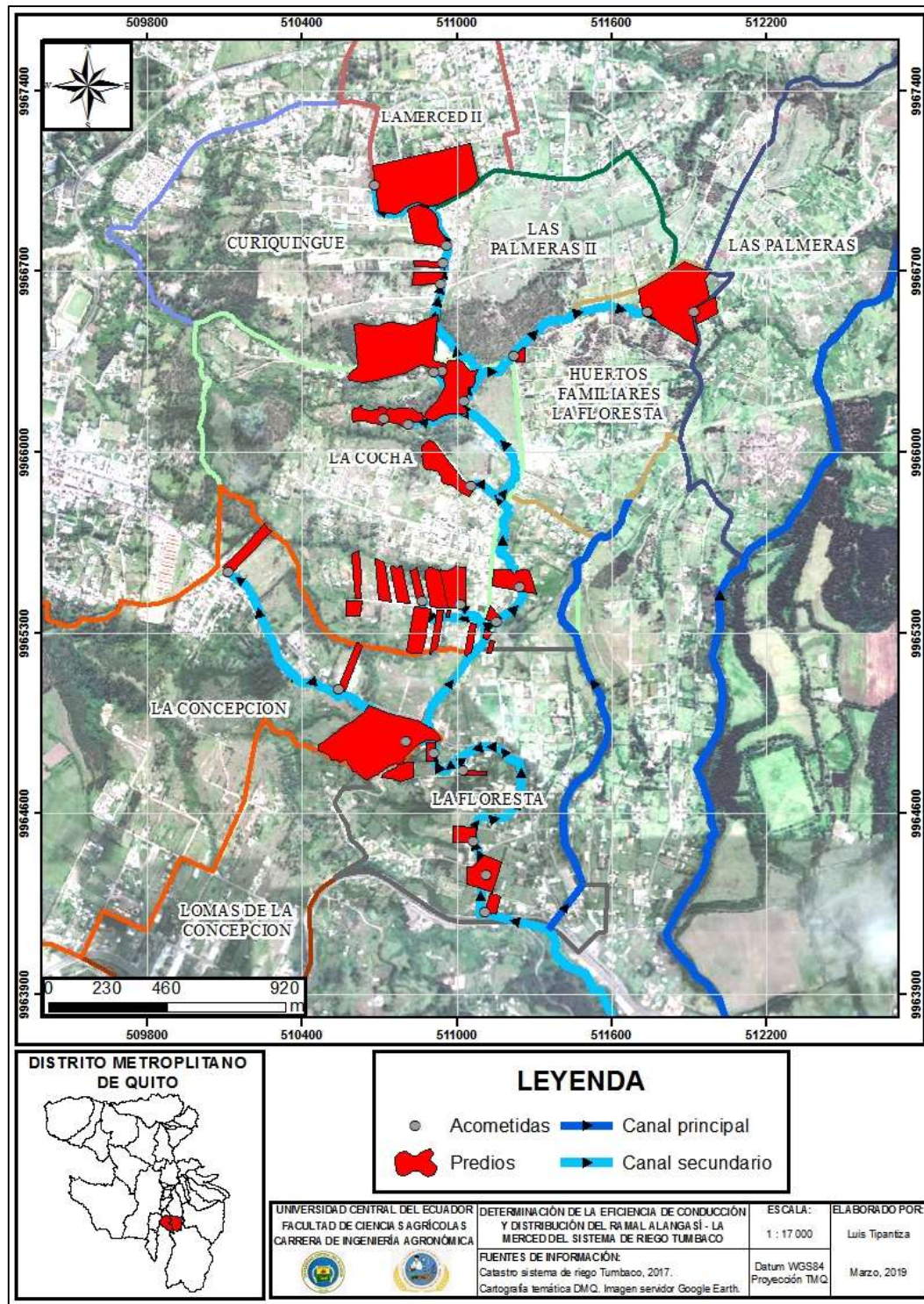


Figura 7. Zonas beneficias en el ramal Alangasí - La Merced.

Las características relevantes de acuerdo a las zonas identificadas son las siguientes:

- La mayoría de los usuarios del sector la Cocha se han retirado del sistema debido a falta de apoyo por parte de la junta de riego Tumbaco, y las necesidades de tener una mejor calidad de vida han obligado a las personas a buscar trabajo en otros sitios y a abandonar la agricultura.
- Existe evidentemente una falta de estudio para la implementación de una infraestructura ideal para la red del canal con la que se distribuye el agua, el problema está en la zona de la Floresta porque existe un tramo entubado pero la medida de la tubería es inferior al caudal que procede desde la compuerta del canal principal y eso ha generado problemas entre usuarios.
- Algunos habitantes mencionan que la tubería actual les ha perjudicado en la distribución del agua. Actualmente existe una reducción del caudal y el tiempo que tenían para regar en sus cultivos en años anteriores.
- La falta de mantenimiento en la infraestructura es otro problema, varias secciones de la red están en proceso de deterioro y hace que el agua se desborde e ingrese a las casas de algunos usuarios, generando problemas como el humedecimiento del patio y las paredes.
- En la zona la Cocha existen problemas de paso de agua entre usuarios, algunos usuarios activos tienen problemas con los usuarios retirados debido a que la acequia por donde cruzaba los predios existe y no permiten que fluya el agua con normalidad hacia los usuarios.
- Al estar rodeado de bosque algunos tramos se encuentran llenos de hojas y cortezas de los árboles que obstruyen el paso del agua, esto ocasiona que se desborde el agua en algunos tramos de la red generando más pérdidas de caudal.
- Algunos tramos de las acequias se encuentran en propiedad privada y esto ocasiona que los usuarios no puedan controlar el caudal del agua proveniente del repartidor hacia los predios.
- Presencia de basura en sectores donde el canal es revestido, ocasiona la obstrucción del flujo de agua hacia los últimos usuarios.



Figura 8. Infraestructura inadecuada en La Cocha.



Figura 9. Presencia de malezas en canal abierto.



Figura 10. Caja de revisión sin mantenimiento.



Figura 11. Acumulación de basura en sección revestida.



Figura 12. Tramo del canal en propiedad privada.

4.2. Eficiencia de Conducción

La eficiencia de conducción se realizó en 3 secciones del ramal secundario y se tomó 2 puntos de monitoreo en la misma sección, uno al principio de la sección y otro al final de la sección, estas secciones fueron previamente seleccionadas en la visita preliminar. En la Figura 13 se observa el mapa de ubicación de las secciones en donde se realizó las mediciones para la determinación de la eficiencia de conducción del ramal.

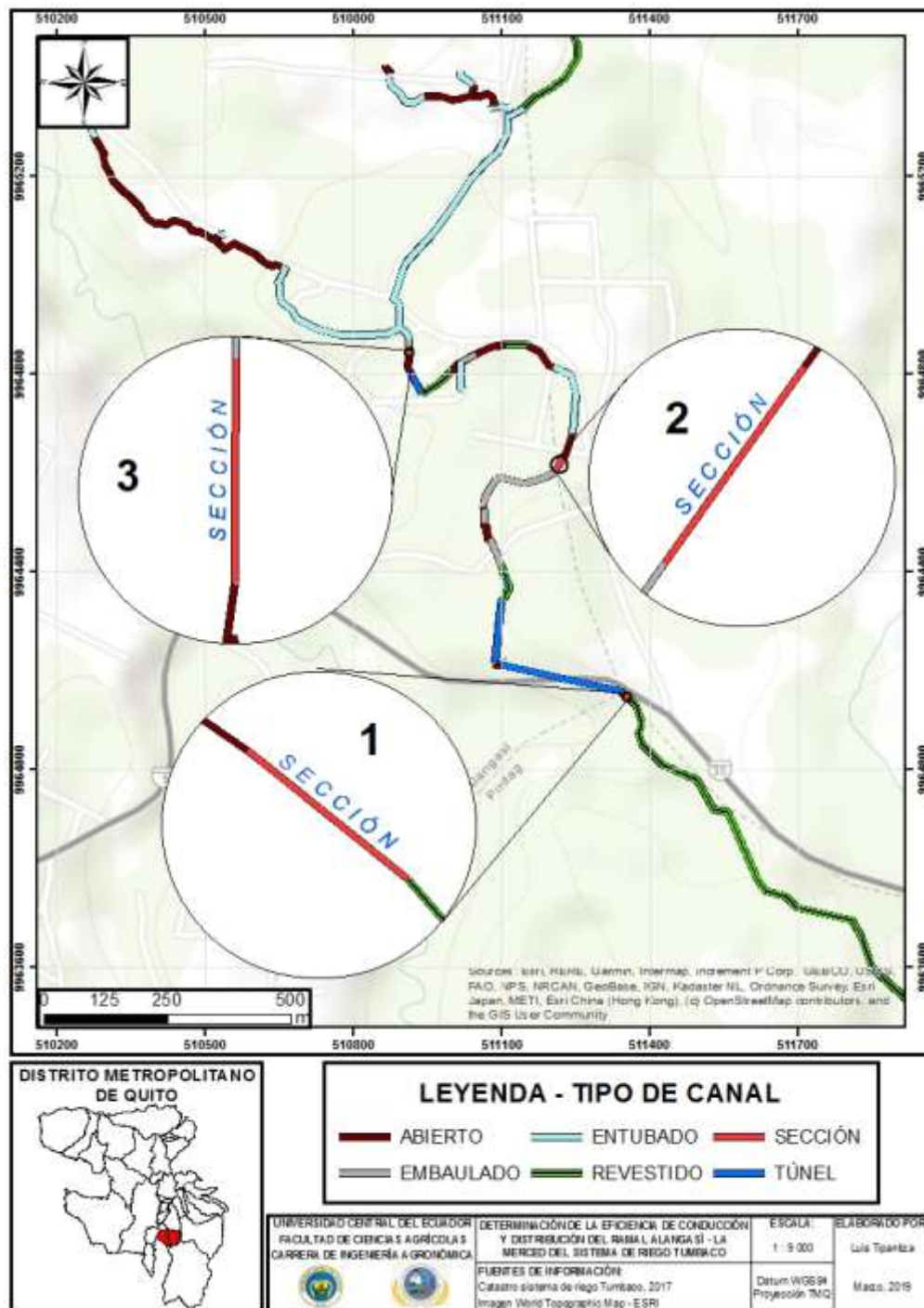


Figura 13. Secciones estudiadas en el ramal Alangasí - la Merced.

Para facilitar el trabajo en cada sección se realizó un registro de información breve del estado actual en que se encontraba la sección, una vez levantada la información se realizó las mediciones correspondientes. En las tablas 8, 9 y 10, se detalla la información recopilada de cada sección.

Tabla 8. Levantamiento de información en la sección 1.

N° de Sección: 1		
Nombre del sector	Hacienda El Refugio	Fotografía
Coordenadas	Punto Inicial (A) X: 511358,91 Y: 9964142,55 Z: 2623	
	Punto final (B) X: 511344,18 Y: 9964156,78 Z: 2622	
Observaciones		
Tipo de canal	Revestido.	
Maleza	Presencia de kikuyo en los extremos de la sección.	
Material flotante	Presencia de hojas secas de árboles de alrededor de la sección.	
Obras civiles	Cerca de la panamericana norte E 35.	
Operación	La operación es realizada por medio del presidente del ramal.	
Notas	Presencia de sedimentos en el interior del canal.	

Tabla 9. Levantamiento de información en la sección 2.

N° de Sección: 2		
Nombre del sector	La Floresta	Fotografía
Coordenadas	Punto Inicial (A) X: 511204,68 Y: 9964598,66 Z: 2619	
	Punto final (B) X: 511226,63 Y: 9964628,86 Z: 2617	
Observaciones		
Tipo de canal	No revestido.	
Maleza	Presencia de kikuyo y berro en el interior y en los extremos de la sección.	
Material flotante	Presencia de restos de hojas y ramas.	
Obras civiles	Cerca de camino empedrado.	
Notas	Presencia de sedimentos en el interior del canal.	

Tabla 10. Levantamiento de información en la sección 3.

N° de Sección: 3		
Nombre del sector	La Floresta	
Coordenadas	Punto Inicial (A) X: 510909,95 Y: 9964813,68 Z: 2616	
	Punto final (B) X: 510913,10 Y: 9964837,62 Z: 261	
Observaciones		
Tipo de canal	Revestido	
Maleza	-----	
Material flotante	Presencia de restos de hojas y plantas de barro	
Obras civiles	Se encuentra cerca de una propiedad	
Notas	Inicio de la infraestructura mal diseñada para el caudal, la tubería no abastece el ingreso total desde la compuerta y eso hace que se desborde el agua.	

En la tabla 11, se presentan los caudales medidos de las tres secciones y sus respectivas pérdidas de caudal, tomando en cuenta el tipo de sección. En el ramal la sección que tiene mayores pérdidas es la sección dos, cuya característica principal es un tipo de canal no revestido y con presencia de sedimentos que impiden el flujo normal del agua, por otra parte, la sección con pérdidas menores es la sección tres.

Tabla 11. Cargas medidas de las secciones.

Sección	Punto inicial (l s⁻¹)		Punto final (l s⁻¹)		Pérdidas (l s⁻¹)
S1	A	74.97	B	73.32	1.65
S2	A	66.97	B	56.64	10.33
S3	A	50.49	B	49.41	1.08

Según los caudales obtenidos se determinó que en el punto A de la sección 1 el caudal es de 74.97 l s⁻¹ lo que significa que es el caudal de ingreso del canal principal al ramal la Alangás - Merced. Para determinar la eficiencia de cada sección se comenzó obteniendo los demás caudales de los puntos restantes, posteriormente se procedió a determinar la eficiencia de conducción para cada tramo del canal secundario. En la Tabla 12 se detalla los caudales y eficiencias de cada sección del ramal.

Tabla 12. Caudales y eficiencias del canal secundario.

Sección	Punto A (l s^{-1})	Punto B (l s^{-1})	Eficiencia (%)	Tipo de canal	Interpretación
S1	74.97	73.32	97.80	Revestido	Buena
S2	66.97	56.64	84.57	No revestido	Buena
S3	50.49	49.41	97.86	Revestido	Buena

En el canal secundario se obtuvo que caudal mayor del ramal fue de 74.97 l s^{-1} y el caudal menor o de salida fue de 49.41 l s^{-1} , siendo este el caudal del punto B de la sección 3. Los valores de las eficiencias de conducción calculados en el ramal se encuentran en un intervalo del 84.57 % al 97.86 % según las cargas registradas del canal parshall.

En la sección 1 del ramal, la eficiencia de conducción fue del 97.80 %, la cual se interpreta como buena. Esta eficiencia se debe a que en los canales revestidos la eficiencia de conducción se encuentra en el rango de 90 al 95 %, y la eficiencia obtenida en esta sección supera el rango establecido para este tipo de canal (Sandoval, 2007) citado por (Méndez, 2012).

En esta sección existe una pérdida de 1.65 l s^{-1} , reflejando que la pérdida producida es mínima y se debe a que este tramo se encuentra totalmente revestido, y no existe pérdidas por filtración al suelo, sino que en este tipo de infraestructura las pérdidas solo se producen por la evaporación del agua y la evapotranspiración de las plantas alojadas en la pared del canal.

En la sección 2 del ramal, la eficiencia de conducción fue del 84.57 %, interpretada como buena. Según (FAO, 2001) indica que la eficiencia de conducción promedio para canales no revestidos es de 75 al 85 %, por lo tanto la eficiencia obtenida en esta sección se encuentran en el intervalo descrito anteriormente, coincidiendo con el dato obtenido.

En la sección 2 existe una pérdida del caudal de 10.33 l s^{-1} , esto podría deberse a que el tipo de infraestructura que presenta la sección es de un canal sin revestimiento, y en este caso las pérdidas son mayores debido a ciertos factores. La infiltración es el principal factor que presenta la sección, como es un canal de tierra las pérdidas de agua son por las paredes y por el fondo del canal. La evaporación también juega un papel importante para estos casos debido a la geometría del canal forma un espejo de agua grande produciéndose con mayor facilidad la evaporación (Arteaga & Bueno, 2014). Otro factor es la presencia de malezas en los bordes del canal, la evapotranspiración de la maleza también afecta al caudal directamente, produciendo pérdidas en el canal (Mérida, 2017).

En la tercera sección se determinó que la eficiencia de conducción fue del 97.86 %, el cual se interpreta como buena según lo indicado por (Sandoval, 2007) citado por (Méndez, 2012)

menciona que en canales revestidos la eficiencia de conducción se encuentra en el rango de 90 al 95 %. En esta sección existe una pérdida de 1.08 l s^{-1} , esto se debe a que este tramo es revestido, y no existe perdidas por filtración al suelo, sino que las pérdidas solo se producen por la evaporación del agua.

La Figura 14 muestra las diferentes eficiencias que se obtuvieron de las secciones donde se hizo las mediciones dentro del ramal Alangasí - La Merced con los respectivos porcentajes obtenidos.

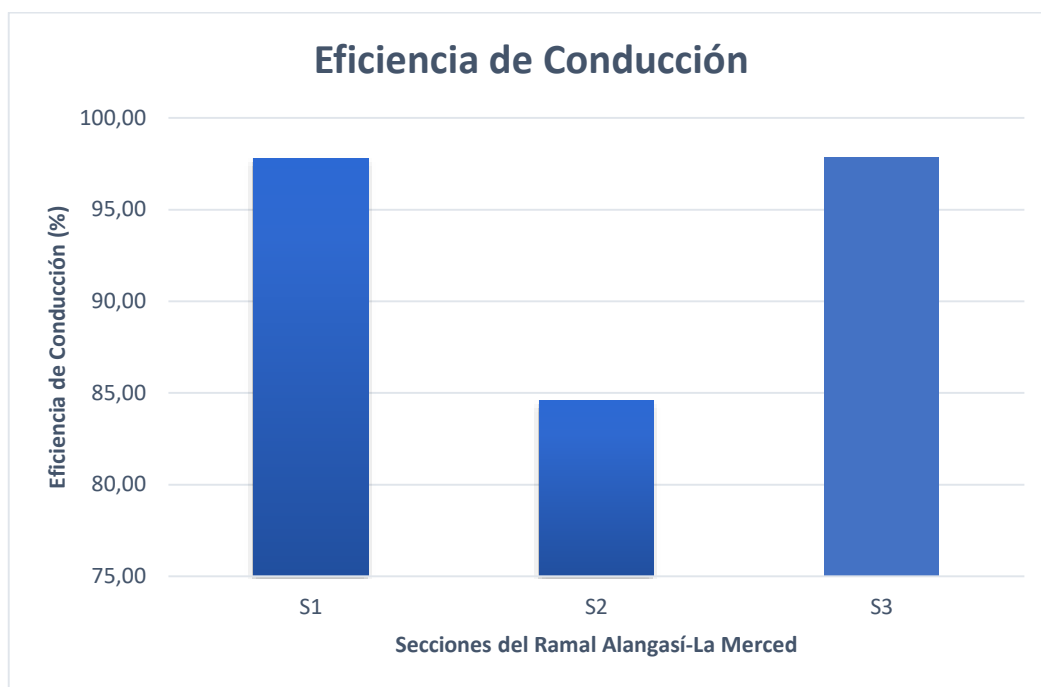


Figura 14. Eficiencias de cada sección del ramal Alangasí - La Merced.

4.3. Eficiencia de Distribución

Caracterización de los óvalos

En el ramal Alangasí - La Merced el manejo de los componentes y estructura es completamente diferente, al tener pocos usuarios el ramal no tiene compuertas hidráulicas como en los demás ramales y por ende a un óvalo se lo caracteriza por el número de usuarios de acuerdo a la zona en que se encuentre. Esta forma de organización la junta lo considero por el número reducido de usuarios y porque algunos de los usuarios se encuentran cerca del canal secundario y usan el agua directamente para sus predios. Solo existe un repartidor que regula la distribución hacia los usuarios de los sectores de la Cocha, Huertos Familiares La Floresta, Curiquingue, la Merced II, las Palmeras y las Palmeras II.

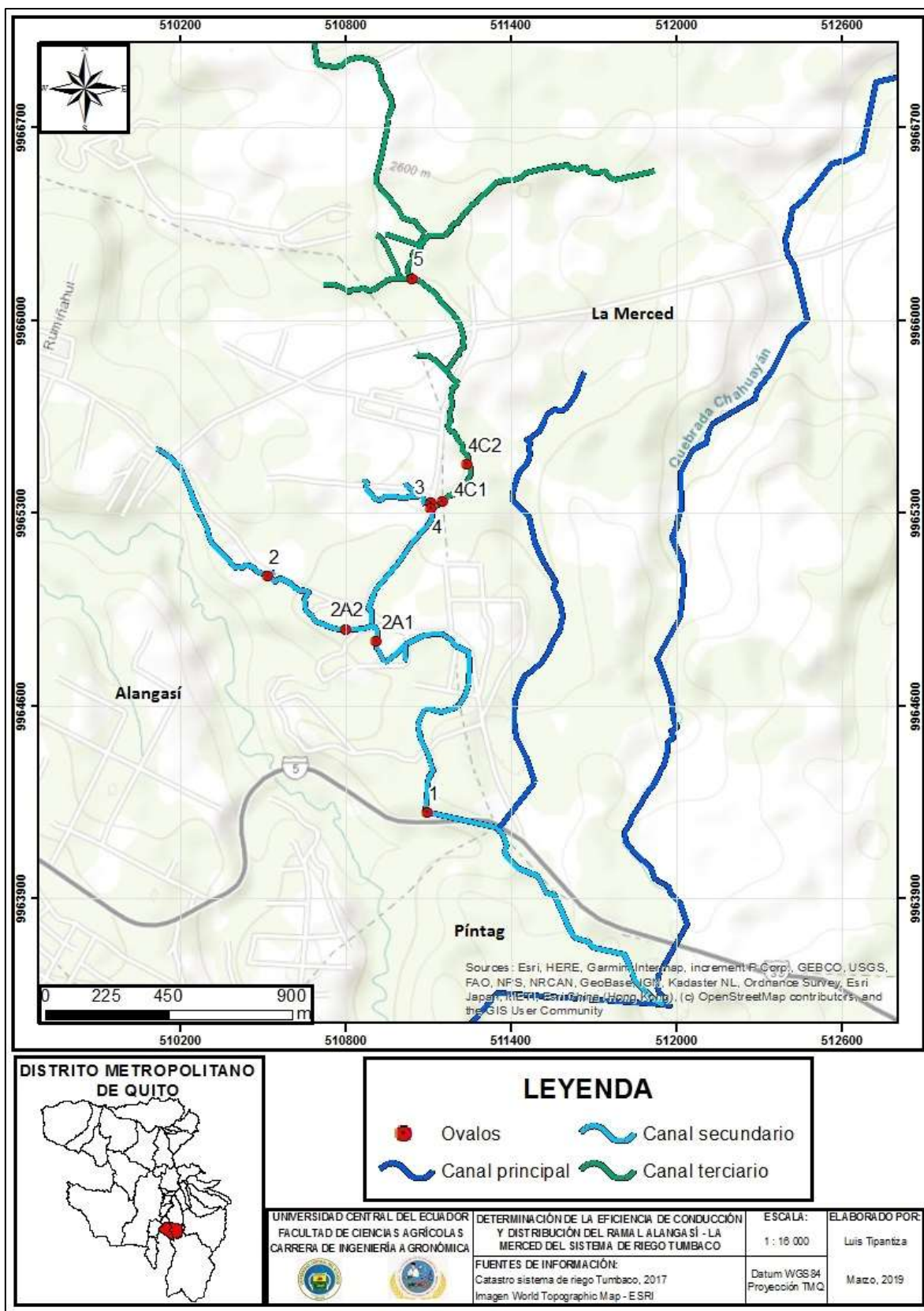


Figura 15. Óvalos del ramal Alangasí - La Merced.

El ramal Alangasí - La Merced posee 5 bloques hidráulicos en todo su canal, distribuidos de la siguiente manera: el primer óvalo presenta 3 usuarios, el segundo óvalo presenta 1 usuario, el tercer óvalo presenta 5 usuarios, el cuarto óvalo presenta 6 usuarios y el quinto óvalo presenta 8 usuarios (Figura 16).

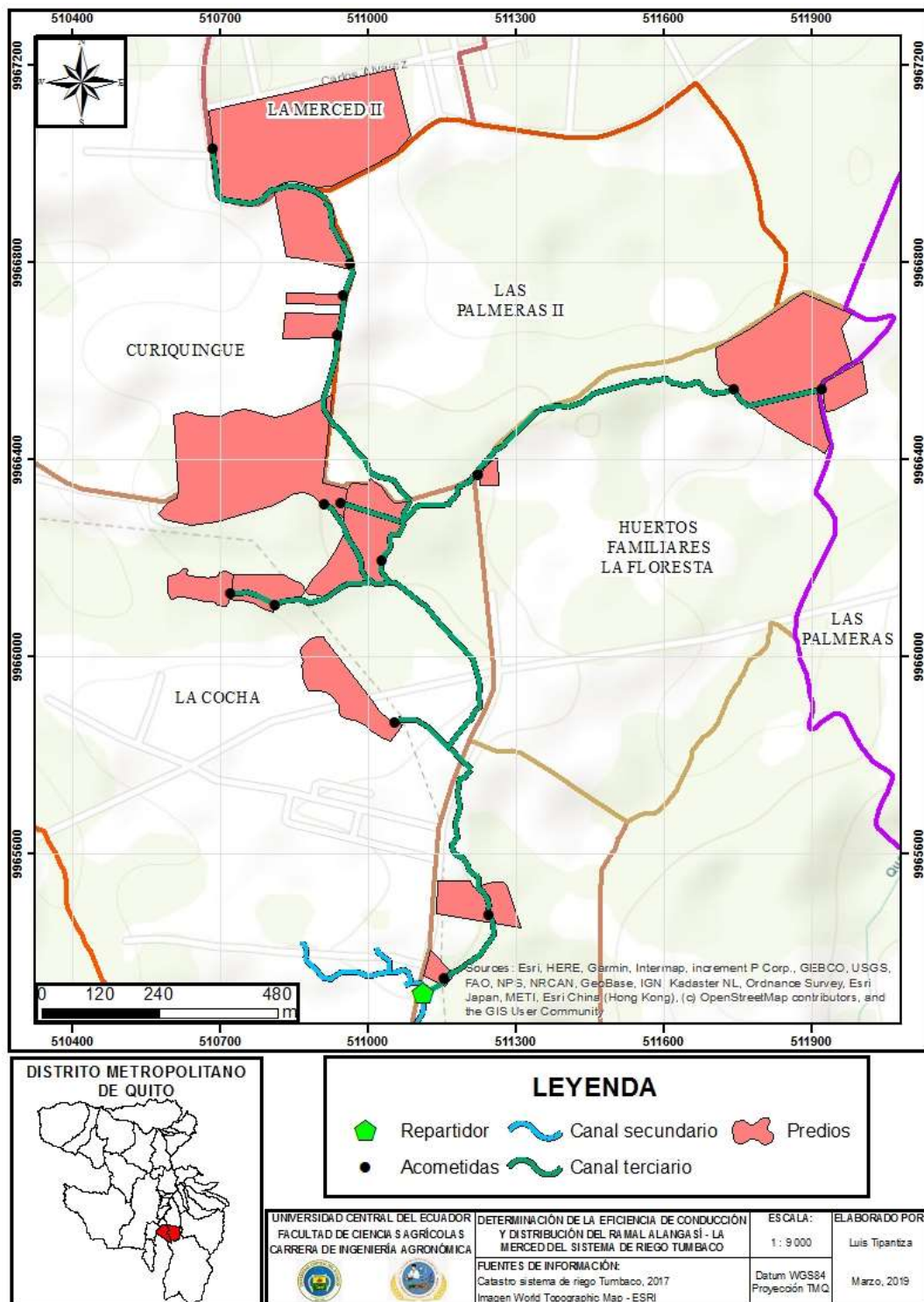


Figura 16. Ubicación de las acometidas de los óvalos 4-5.

Se seleccionó los óvalos 4-5 por tener número de usuarios mayor al de los otros óvalos y también porque la mayoría de los usuarios poseen un estatus activo. Los bloques hidráulicos 4 y 5 presentan las siguientes características:

Óvalo 4: Tiene una longitud de 1 878.64 m, repartida en: 960.33 m es de tipo canal abierto canal, 541.25 m es de tipo canal revestido y 377.06 m es de tipo canal entubado.

Óvalo 5: Tiene una longitud de 2273.19 m, repartida en: 1360.23 m es de tipo canal abierto, 539.24 m es de tipo canal revestido, 363.55 m es de tipo canal entubado y 10.16 m es de tipo canal embaulado.

Operación

La persona encargada de la operación es el presidente del ramal, como son pocos usuarios no existe presidente de óvalo, el presidente opera mediante una llave para abrir y cerrar la compuerta del ramal. El presidente también tiene la función de distribuir el agua mediante dos válvulas, una válvula es para el óvalo 3 y la otra para el óvalo 4-5. El modo de operación para la distribución es la siguiente: primero se abre 15 días para el óvalo 3 y después 15 días se abre para los óvalos 4-5. Para distribuir el agua en los óvalos se abre una válvula y se cierra la otra válvula.

Mantenimiento

El mantenimiento de los canales terciarios lo realiza cada usuario, los tramos del canal donde atraviesa un predio el propio dueño se encarga de limpiar y mantenerlo sin basuras, los otros tramos no se hacen ninguna limpieza por lo que crece en abundancia la hierba y existe tramos obstaculizados con basura.

Usuarios de los óvalos 4-5

Según el Catastro del Sistema de Riego Tumbaco del 2017, cada usuario del ramal tiene una codificación que lo identifica en el sistema de riego Tumbaco. En total existen 14 usuarios distribuidos de la siguiente manera: el cuarto óvalo presenta 6 usuarios y el quinto óvalo presenta 8 usuarios. En la Figura 17 presenta la red de los usuarios, el tipo de canal y la codificación de cada usuario.

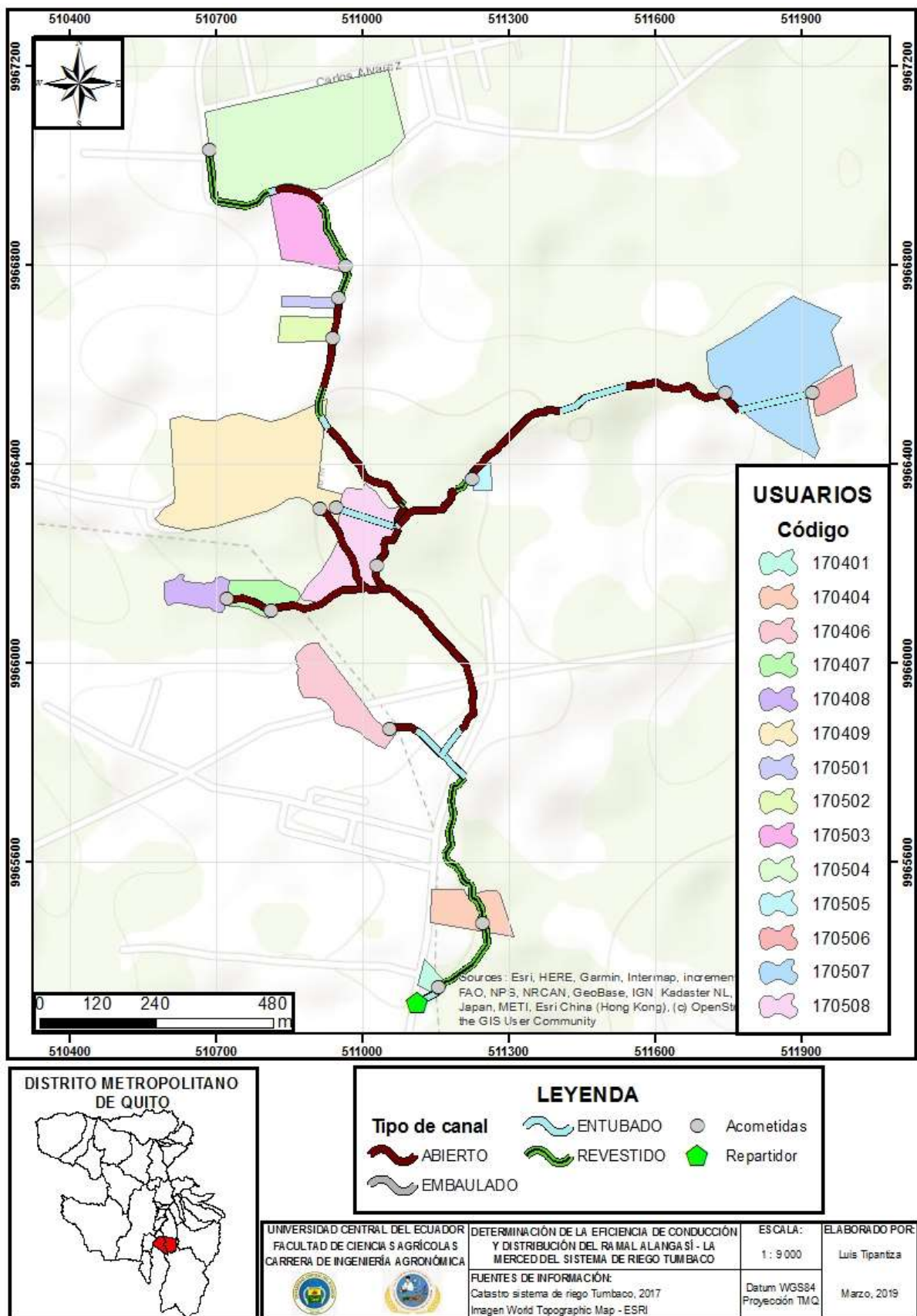


Figura 17. Distribución de los usuarios de los óvalos 4-5.

Eficiencia de distribución de los óvalos 4-5

Para la eficiencia de distribución se realizó mediciones en los canales terciarios utilizando el vertedero rectangular sin contracciones, estas mediciones se hicieron en cada entrada (acometida) a los predios.

En la Tabla 13, se detalla los caudales obtenidos de los 14 usuarios que existe en los óvalos 4-5, el caudal de ingreso al óvalo fue de 49.40 l s^{-1} . Por otra parte, se obtuvo que el caudal con mayor valor fue de 10.06 l s^{-1} que le pertenece al usuario 170503 y el caudal con el menor valor fue de 1.04 l s^{-1} lo comparten los usuarios 170408 y 170409.

Tabla 13. Caudal de los usuarios del óvalo 4-5.

N°	Usuario (Código)	Ha (cm)	Ha (m)	Caudal ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$)	Caudal (l s^{-1})
0	Entrada óvalo	27.13	0.27	0.049	49.40
1	170401	6.66	0.07	0.006	6.01
2	170404	5.42	0.05	0.004	4.41
3	170406	5.70	0.06	0.005	4.76
4	170407	2.07	0.02	0.001	1.04
5	170408	2.07	0.02	0.001	1.04
6	170409	2.20	0.02	0.001	1.14
7	170508	4.68	0.05	0.004	3.54
8	170502	3.50	0.04	0.002	2.29
9	170501	2.41	0.02	0.001	1.31
10	170503	9.39	0.09	0.010	10.06
11	170504	2.63	0.03	0.001	1.49
12	170505	3.20	0.03	0.002	2.00
13	170507	3.20	0.03	0.002	2.00
14	170506	2.20	0.02	0.001	1.14

En la Tabla 14, se presentan los volúmenes entregados a cada usuario, el usuario 170406 presentó el máximo volumen con $289,71 \text{ m}^3$ y el usuario 170407 presentó el menor volumen con 44.98 m^3 . La eficiencia de distribución se basa en el análisis de uniformidad de distribución, es decir, según la distribución del volumen por hectárea se debe establecer con un 20% de variabilidad, considerando un 80% una eficiencia razonable en un sistema de riego.

Tabla 14. Eficiencia de distribución del óvalo 4-5.

N°	USUARIO (Codificación)	Área (Ha)	Q (l s ⁻¹)	Turno asignado (h)	Volumen (m ³)	Volumen /superficie (m ³ ha ⁻¹)	Mayor a menor (m ³ ha ⁻¹)
1	170401	0.17	6.01	6.00	129.79	761.71	5 286.17
2	170404	0.46	4.41	7.00	111.17	243.17	1 052.91
3	170406	0.02	4.76	6.00	102.76	5 286.17	761.71
4	170407	0.23	1.04	12.00	44.98	193.87	683.47
5	170408	0.16	1.04	24.00	89.96	554.65	637.14
6	170409	0.87	1.14	24.00	98.56	113.70	554.65
7	170508	0.19	3.54	16.00	203.87	1 052.91	512.17
8	170502	0.14	2.29	12.00	98.89	683.47	472.01
9	170501	0.12	1.31	12.00	56.50	472.01	258.15
10	170503	1.12	10.06	8.00	289.71	258.15	243.17
11	170504	2.18	1.49	48.00	257.66	118.11	193.87
12	170505	0.14	2.00	12.00	86.45	637.14	190.59
13	170507	0.91	2.00	24.00	172.91	190.59	118.11
14	170506	0.16	1.14	20.00	82.14	512.17	113.70
						Promedio	79.27
						V. 25 %	154.07
						Efd (%)	19.47

Para tener una mejor interpretación referente al valor del coeficiente de uniformidad, la FAO clasifica a los valores de uniformidad de la siguiente forma: excelentes si superan el 94 %, buenos si están entre el 86 % y el 94 %, aceptables con rango entre el 80 % y el 86 % y pobres, inferiores al 80 % (Vermeiren y Jobling, 1986) citado por (Lobo et al., 2011), el valor obtenido del coeficiente fue del 19.47 % interpretada como pobre debido a que es menor al 80 %. La forma de distribución del agua de riego que se está realizando en el óvalo no es adecuada y recomendable para satisfacer las necesidades de los cultivos, otra causa que afecta la eficiencia de distribución es la operación, en el ramal no existe un operador a tiempo completo como en los demás ramales, esto se debe a que el presidente del ramal trabaja fuera de la provincia y no conoce el estado en que se encuentra la distribución del agua de riego a los usuarios.

Otro factor importante es la falta de un calendario de turnos actualizado por lo que los usuarios riegan en sus predios a cualquier hora, y esto genera una disputa del tiempo de riego que necesitan para regar en sus predios. En consecuencia, algunos usuarios riegan más horas que otros y hay usuarios que no riegan nada por la escasez del agua.

4.4. Sobre o sub irrigación

Para la determinación de la sobre o sub irrigación que existe en los usuarios, se levantó la información a los dueños de cada predio sobre los cultivos presentes en su lote y también sus respectivas áreas de producción, esto se realizó mediante una entrevista personal con cada uno de los usuarios.

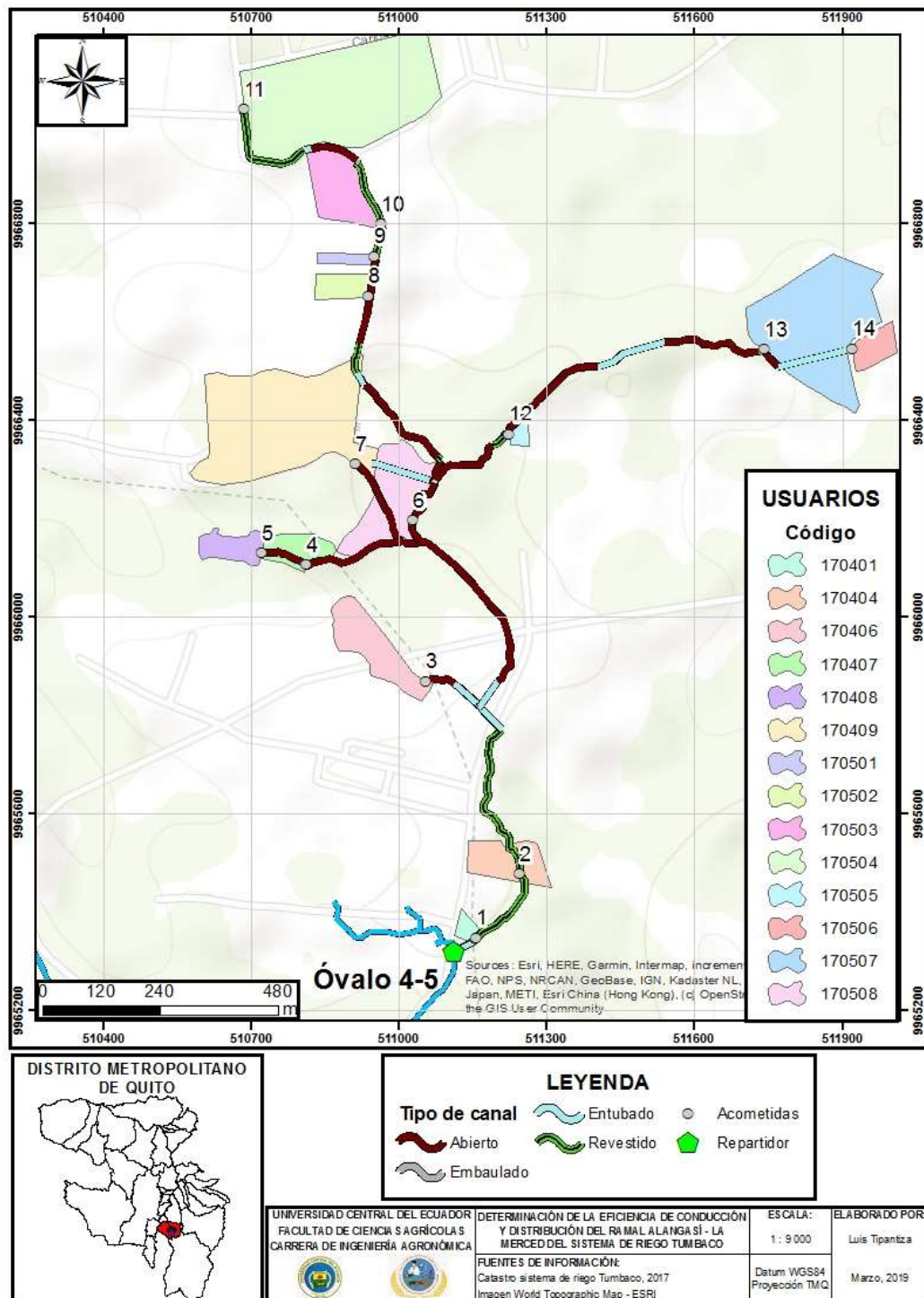


Figura 18. Ordenamiento de usuarios según las mediciones.

En el Tabla 15, se detalla la información de los cultivos establecidos y mediante una matriz del balance hídrico se determinó la sobre y sub irrigación de cada usuario en los óvalos 4-5.

Tabla 15. Área de los cultivos de los usuarios del óvalo 4-5.

USUARIO (Código)	Superficie (m ²)	Superficie (Ha)	Cultivos (m ²)				
			Maíz	Fréjol	Papas	Pasto	Cítrico
170401	1 703.90	0.17	809.70	541.30	352.90	----	----
170404	4 571.50	0.46	----	----	----	4 571.50	----
170406	194.40	0.02	----	----	----	194.40	----
170407	2 320.10	0.23	1 426.30	----	----	----	893.80
170408	1 621.90	0.16	----	----	----	1 621.90	----
170409	8 669.00	0.87	----	1 933.90	----	6 735.10	----
170508	1 936.30	0.19	----	----	----	1 086.60	849.70
170502	1 446.90	0.14	----	----	----	903.40	543.50
170501	1 197.10	0.12	----	878.60	----	----	318.50
170503	11 222.50	1.12	----	----	----	11 222.50	----
170504	21 815.30	2.18	----	----	----	21 815.30	----
170505	1 356.90	0.14	----	----	----	1 356.90	----
170507	9 072.10	0.91	5 095.70	2 976.40	----	1 000.00	----
170506	1 603.70	0.16	425.90	----	----	1 177.80	----

El uso del suelo de este óvalo está distribuido por cultivos de ciclo corto como el maíz, el fréjol y la papa, hay otra fracción de pasto, y por ultimo también hay presencia de cítricos. Esta información es fundamental porque permite conocer la dinámica actual de la zona por donde atraviesa el ramal. En relación a los otros usos y cobertura existe áreas de bosques, áreas sin uso, áreas de infraestructura, hay un complejo turístico, un cuerpo de agua y área de viviendas.

En la Figura 19, se observa la distribución de uso y cobertura del óvalo 4-5:

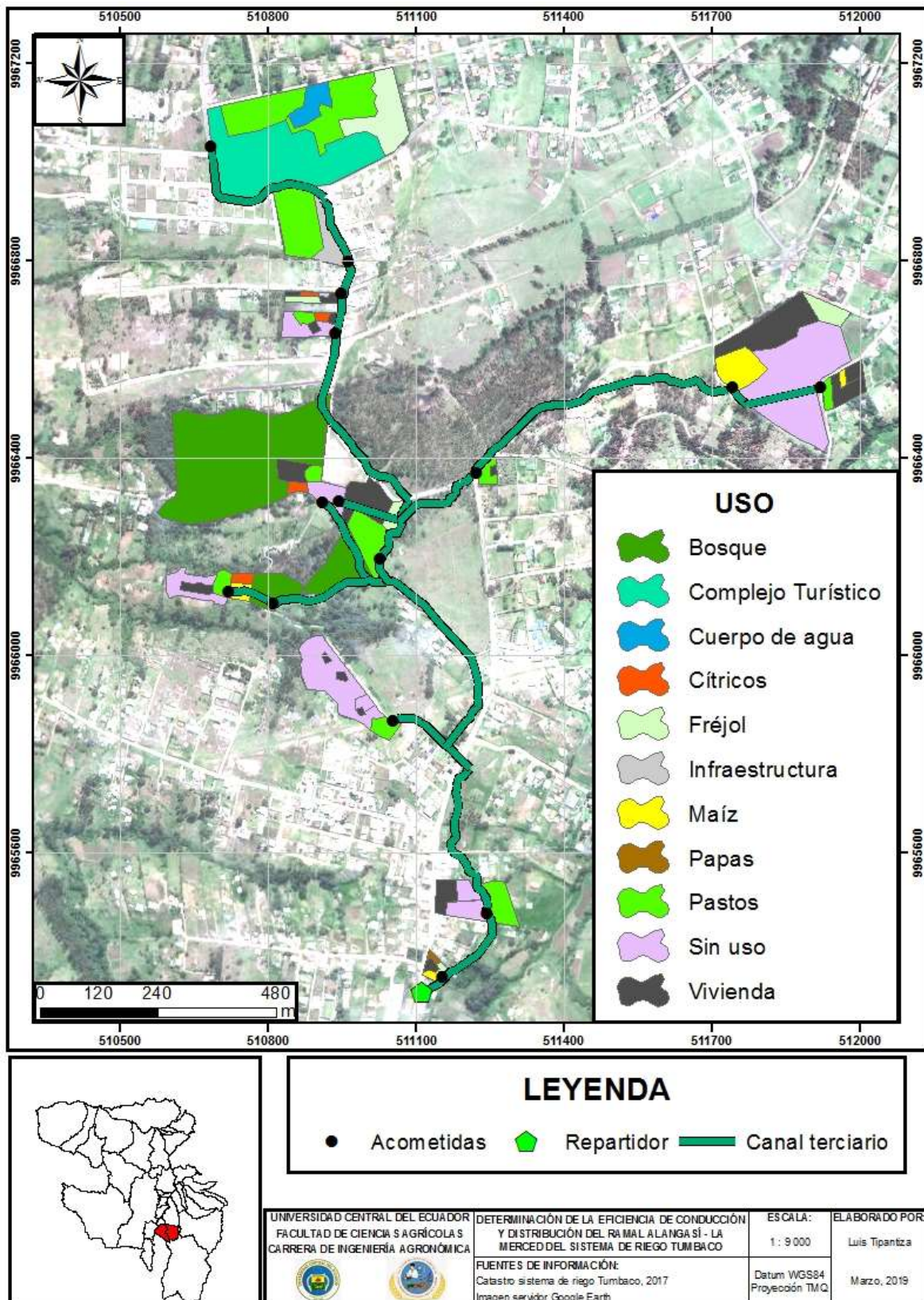


Figura 19. Uso y cobertura del óvalo 4-5.

En el Tabla 16, se presenta el tiempo de riego calculado para el mes de agosto, debido a que es el mes de mayor demanda hídrica. La determinación de sobre o sub irrigación se basó mediante el

balance hídrico de los cultivos, la cual se determinó la demanda hídrica mensual y el tiempo de riego necesario para cubrir la demanda hídrica de los cultivos.

Tabla 16. Sobre o sub irrigación en los óvalos 4-5.

N°	Usuario	Agosto Trmax (h)	Tiempo asignado (h)	Condición Agosto
1	170401	8.10	6	SUB IRRIGACION
2	170404	42.93	7	SUB IRRIGACION
3	170406	1.69	6	SOBREIRRIGACION
4	170407	81.36	12	SUB IRRIGACION
5	170408	64.59	24	SUB IRRIGACION
6	170409	281.51	24	SUB IRRIGACION
7	170508	22.10	16	SUB IRRIGACION
8	170502	25.30	12	SUB IRRIGACION
9	170501	24.07	12	SUB IRRIGACION
10	170503	28.19	8	SUB IRRIGACION
11	170504	389.80	48	SUB IRRIGACION
12	170505	28.10	12	SUB IRRIGACION
13	170507	141.74	24	SUB IRRIGACION
14	170506	55.80	20	SUB IRRIGACION

El usuario 170401 tiene un tiempo asignado para regar de 6 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 8.1 horas, presentando un déficit de riego de 2.1 horas.

El usuario 170404 tiene un tiempo de riego asignado de 7 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos fue de 42.9 horas, presentando un déficit de 35,9 horas.

El usuario 170406 tiene un tiempo asignado para regar de 6 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 1,7 horas, presentando un exceso de 4.3 horas aproximadamente.

El usuario 170407 tiene un tiempo asignado para regar en su predio de 12 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 81.4 horas, presentando un déficit de riego de 69.4 horas.

El usuario 170408 tiene un tiempo asignado de 24 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos fue de 64.6 horas, presentando un déficit de riego de 40.6 horas.

El usuario 170409 tiene un tiempo asignado para regar de 24 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos fue de 281.51 horas, presentando un déficit de 257.5 horas aproximadamente.

El usuario 170508 tiene un tiempo asignado para regar de 16 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 22.1 horas, presentando un déficit de riego de 6.10 horas.

El usuario 170502 tiene un tiempo asignado para regar en su predio de 12 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 25.30 horas, presentando un déficit de riego de 13.30 horas.

El usuario 170501 tiene un tiempo asignado para regar de 12 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 24.1 horas, presentando un déficit de riego de 12.1 horas.

El usuario 170503 tiene un tiempo asignado para regar en su predio de 8 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 28.2 horas, presentando un déficit de riego de 20.2 horas.

El usuario 170504 tiene un tiempo asignado para regar de 48 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 389.80 horas, presentando un déficit de 341.80 horas aproximadamente.

El usuario 170505 tiene un tiempo asignado para regar de 12 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 28.10 horas, presentando un déficit de riego de 16.10 horas.

El usuario 170507 tiene un tiempo asignado para regar en su predio de 24 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 141.7 horas, presentando un déficit de riego de 117.7 horas.

El usuario 170506 tiene un tiempo asignado para regar en su predio de 20 horas y el tiempo de riego para cubrir la demanda hídrica de los cultivos en el mes de agosto fue de 55.8 horas, presentando un déficit de riego de 35.8 horas.

El análisis de la sobre y sub irrigación de los óvalos 4-5 determinó que la mayor parte de los usuarios del óvalo presentaron sub irrigación en sus predios, el 92.86 % de usuarios presenta déficit en los caudales que ingresan a sus predios, y sólo un usuario presenta sobre irrigación en el mes de agosto (Figura 20). En consecuencia los usuarios en el mes de agosto no reciben la cantidad de agua necesaria para cubrir los requerimientos hídricos de los cultivos, ocasionando que los usuarios opten por cambiar los cultivos rentables o definitivamente abandonen la agricultura.

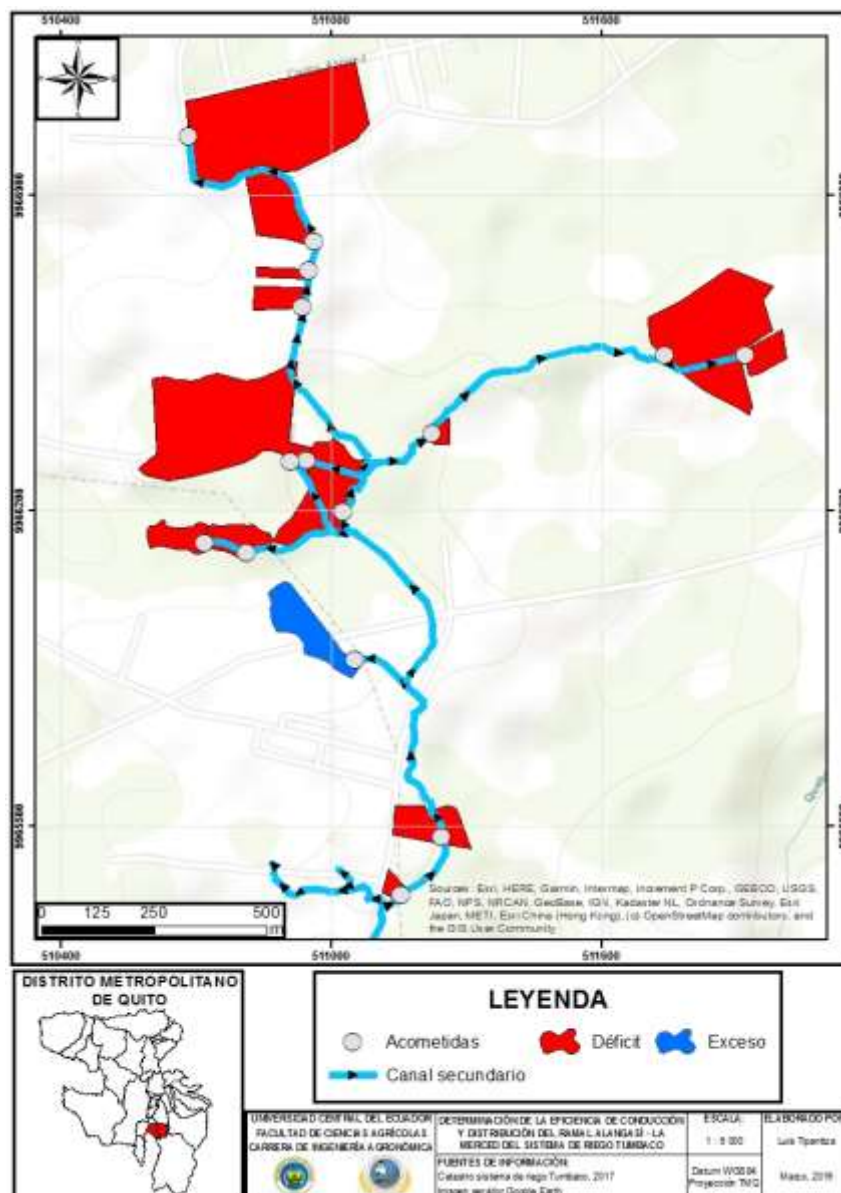


Figura 20. Condición del mes de agosto.

La causa de la sub irrigación en los óvalos se debe a que los usuarios no tienen los turnos de riego actualizados y eso afecta en la distribución en los canales terciarios no sea la ideal para los usuarios y en consecuencia no existe una uniformidad de distribución del agua de riego, una alternativa para mejorar la distribución de agua es la implementación de los turnos de acuerdo al área regable y la necesidad hídrica de los cultivos, también se debe hacer un mejoramiento en la infraestructura de toda la red del ramal, convocar a mingas para limpiar todas las acequias y dar un buen mantenimiento. En el Tabla 17, se presenta el tiempo de riego calculado para los 12 meses de año de cada usuario y los meses que presentan sub irrigación cada usuario.

Tabla 17. Tiempo de riego calculado para cada usuario.

N°	Usuario	Tiempo asignado (h)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	170401	6	5.93	3.72	0.73	0.21	1.48	4.71	7.05	8.10	4.38	0.57	2.77	6.70
2	170404	7	0.56	10.62	3.54	0.00	2.85	28.72	16.23	42.93	25.95	0.00	0.00	12.17
3	170406	6	0.02	0.42	0.14	0.00	0.11	1.13	0.64	1.69	1.02	0.00	0.00	0.48
4	170407	12	51.21	31.78	4.41	2.72	22.61	52.12	71.00	81.36	46.50	8.86	20.28	42.63
5	170408	24	0.84	15.98	5.33	0.00	4.29	43.21	24.41	64.59	39.04	0.00	0.00	18.31
6	170409	24	12.39	63.96	20.18	0.00	16.23	178.70	124.38	281.51	165.39	0.00	20.70	110.86
7	170508	16	3.21	5.28	1.40	0.17	3.34	14.49	12.99	22.10	12.98	0.86	1.36	5.97
8	170502	12	3.02	5.88	1.40	0.08	3.16	16.58	14.08	25.30	14.79	0.73	1.24	6.30
9	170501	12	6.72	3.52	0.36	0.17	2.53	12.00	20.90	24.07	12.27	0.87	9.56	18.80
10	170503	8	0.37	6.97	2.32	0.00	1.87	18.86	10.65	28.19	17.04	0.00	0.00	7.99
11	170504	48	5.06	96.45	32.15	0.00	25.86	260.76	147.35	389.80	235.64	0.00	0.00	110.52
12	170505	12	0.37	6.95	2.32	0.00	1.86	18.80	10.62	28.10	16.99	0.00	0.00	7.97
13	170507	24	83.26	52.93	7.54	3.93	26.75	84.05	113.25	141.74	79.03	10.76	46.80	105.77
14	170506	20	11.54	17.16	4.38	0.58	6.56	36.98	27.53	55.80	33.37	1.58	4.20	21.44

V. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió finalizar con las siguientes conclusiones:

- Las eficiencias de conducción en las tres secciones del ramal Alangasí-La Merced se categorizaron como eficiencias buenas, tanto para las dos secciones (S1, S3) de tipo de canal revestido que presentaron pérdidas mínimas por la evaporación. Por otra parte la segunda sección que es de tipo canal abierto presentó mayores pérdidas, debido a la infiltración del agua, la falta de mantenimiento y la acumulación de sedimentos, piedras y malezas en el interior del canal.
- Se determinó que los óvalos 4-5 presentan una eficiencia de distribución del 19,47% interpretada como pobre, la cual significa que existe una inequidad en la distribución del agua, perjudicando a la mayoría de los usuarios. Por otra parte la falta de mantenimiento en los canales terciarios provoca la acumulación de basuras y malezas haciendo que se produzcan desbordamientos a lo largo de la red.
- El 92.86 % de los usuarios presentaron sub irrigación, es decir un déficit de agua, como producto de la falta de actualización sobre los turnos de riego en función de las necesidades hídricas de los cultivos y el área cultivada de cada usuario.
- Mediante entrevistas realizadas a los usuarios se presentó ciertos problemas que afectan a los usuarios del ramal, un problema que la mayoría de usuarios concordó es la falta de gestión por parte de la directorio de la JRT. Afirman que ya no existe una comunicación sobre las reuniones, asambleas y mingas, generando un abandono de la agricultura y en casos extremos la renuncia como usuario del sistema de riego.

VI. RECOMENDACIONES

- El estado y la JRT debe promover a los usuarios nuevamente a la agricultura familiar, con el fin de salvaguardar el uso del suelo y evitar la migración de las personas a la ciudad, realizando cursos, capacitaciones y talleres periódicamente a los usuarios.
- La Junta de Riego Tumbaco debería reunirse con los usuarios del ramal una vez al mes para resolver problemas que se presentan en toda la red del ramal, una buena comunicación con los usuarios permitiría tener un mejor conocimiento sobre la situación o el estado en que se encuentra el canal.
- Aplicar un censo anual en el sistema de riego Tumbaco sería de mucha importancia para conocer y actualizar información con respecto a los usuarios, esto es fundamental para tener información sobre la infraestructura, el caudal que recibe, la superficie regable, los cultivos presentes y el método de riego. Además almacenar la información es necesario para un mejor análisis y ejecución.
- Implementar un plan de para el mejoramiento en la partes del ramal que generan problemas con el flujo del agua. Por medio de mingas planificadas se daría un mantenimiento adecuado de los canales generando una distribución equitativa del agua.
- La Junta de Riego Tumbaco debe hacer un estudio y ajustar los tiempos de riego de los usuarios en función de la superficie cultivada, cultivos establecidos, las necesidades hídricas de los cultivos y el caudal real de ingreso al usuario.
- Según los usuarios un cambio del tramo entubado sería la principal solución a sus problemas de distribución del agua, por lo que sería de realizar estudios para determinar el mejor tamaño y dimensiones que debería tener la tubería en ese tramo. El rediseño del tramo mejoraría la calidad de vida de los usuarios, haciendo que los usuarios tengan más posibilidades de prosperar y no abandonar la agricultura.

VII. RESUMEN

En el Ecuador gran parte del recurso hídrico es destinado para ser usado en la agricultura, estimándose una superficie 8 millones de hectáreas cultivables, sin embargo el 12 % de dicha superficie tienen la posibilidad de acceder a un sistema de riego construido por el estado. Además cuenta aproximadamente con una superficie de 3.14 millones de hectáreas potenciales para el riego, de las cuales 950 mil hectáreas se encuentran bajo infraestructura de riego y dentro de esta superficie, se encuentra el Sistema de Riego Tumbaco.

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, el cual cuenta con 2 300 usuarios distribuidos en siete ramales: Alangasí – La Merced, Ilaló, San Blas, El Pueblo, Churroloma, Chichipata y La Viña

Se desarrolló la investigación para determinar la eficiencia de conducción en tres tramos del canal secundario, la eficiencia de distribución del agua de riego en el óvalo 4-5, así como la presencia de sobre y sub irrigación de los usuarios. Para cumplir con los objetivos planteados se levantó información del último catastro como: la ubicación de las tres secciones al inicio, al medio y final del ramal, el óvalo 4-5, los usuarios y turnos de riego de dicho óvalo. Para medir los caudales se utilizó el canal Parshall y un vertedero rectangular, y para determinar el tiempo de riego, se calcularon las necesidades hídricas de los cultivos mediante entrevistas directas con los usuarios.

Los resultados fueron los siguientes: la eficiencia de conducción en las tres secciones del canal secundario inicio, mitad y final fue del 97.80 %, 84.57 % y 97.86 %, respectivamente. Las eficiencias de distribución en el óvalo fue de 19.47 %. El cálculo de los tiempos de riego según las necesidades hídricas de los cultivos para el mes de agosto permitió determinar la existencia de una sub irrigación en los usuarios.

Las conclusiones que se logró obtener en la investigación fueron: las eficiencias registradas en las tres secciones del canal secundario son buenas en todas las secciones, también se evidenció que el estado actual del canal no presentó buenas condiciones físicas de operación y mantenimiento. En cuanto al óvalo, la eficiencia de distribución es pobre y existe sub irrigación en el 92.86 % de los usuarios.

Acorde a lo datos obtenidos es importante que la JRT, gestione para mejorar la eficiencia de conducción, mediante el revestimiento en las secciones donde existan mayores pérdidas de caudal tanto el canal secundario como en los terciarios, actualice los tiempos de riego y mejore la estructura hidráulica tanto en canales secundarios como en los terciarios. Por otro lado el tiempo de riego debe actualizarse en función de las necesidades hídricas de los cultivos, área cultivada, cultivos en explotación y del caudal real de ingreso a cada usuario.

VIII. REFERENCIAS

- Aidarov, I., Golovanov, A., y Mamaev, M. (1985). *El Riego*. Moscú: Editorial Mir. 1985.
- Apollin, F., & Eberhart, C. (1998). *Metodologías de análisis y diagnóstico de sistemas de riego campesino*. Obtenido de <https://www.avsf.org/public/posts/550/metodologias-de-analisis-y-diagnostico-de-sistemas-de-riego-campesino.pdf>
- Arteaga, A., & Bueno, E. (2014). *Determinación de la eficiencia de conducción en el sistema de riego del canal de derivación Cartavio, empresa Casa Grande-Cartavio*. Obtenido de [http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9277/Arteaga_Yupanqui%2C Alan Jaime.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/9277/Arteaga_Yupanqui%2C%20Alan_Jaime.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Asamblea Nacional. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua*. Obtenido de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/LEYD-E-RECURSOS-HIDRICOS-II-SUPLEMENTO-RO-305-6-08-204.pdf>
- Bórnez, F. (2017). *La importancia del riego de los cultivos hortícolas*. Obtenido de www.regaber.com
- Calvache, M. (2013). *Riego Andino Tecnificado*. Recuperado Febrero 14, 2019, obtenido de ACADEMIA website: https://www.academia.edu/41049807/Riego_Andino_Tecnificado
- Chasiluisa, N. (2017). *Caracterización predial y de infraestructura del sistema de riego Tumbaco Ramal San Blas, 2016* (Universidad Central del Ecuador). Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13742/1/T-UCE-0004-A051-2017.pdf>
- Cisneros, M. (2018). *Caracterización predial y de infraestructura del sistema de riego Tumbaco Ramal Chichipata, zona 2, 2016* (Universidad Central del Ecuador). Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/14729/1/T-UCE-0004-A67-2018.pdf>
- Claro, F. (1991). *Balance Hídrico*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/011636/BALANCEHIDRICO.pdf>
- CNR. (2016). ¿Que es le coeficiente de cultivo (Kc) en riego? Valores por especie -. Recuperado Febrero 8, 2019, obtenido de Portalfruticola website: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/08/14/que-es-le-coeficiente-de-cultivo-kc-en-riego-valores-por-especie/>
- CONGOPE. (2016). *Hablemos de riego*. Obtenido de <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>
- Constitución del Ecuador. (2008). *Constitución de la República del Ecuador 2008* (Legislativo, Ed.). Obtenido de www.lexis.com.ec
- COOTAD. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. Obtenido de www.lexis.com.ec
- FAO. (1989). *Irrigation Water Management: Irrigation Scheduling*. Obtenido de <http://www.fao.org/tempref/agl/AGLW/fwm/Manual4.pdf>
- FAO. (2001). *Eficiencia de riego*. Obtenido de http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR_cap3.PDF
- FAO. (2006). Evapotranspiración del cultivo. *FAO*, 56, 301. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- Fernández, R., Ávila, R., López, M., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). Fundamentos del Riego. In

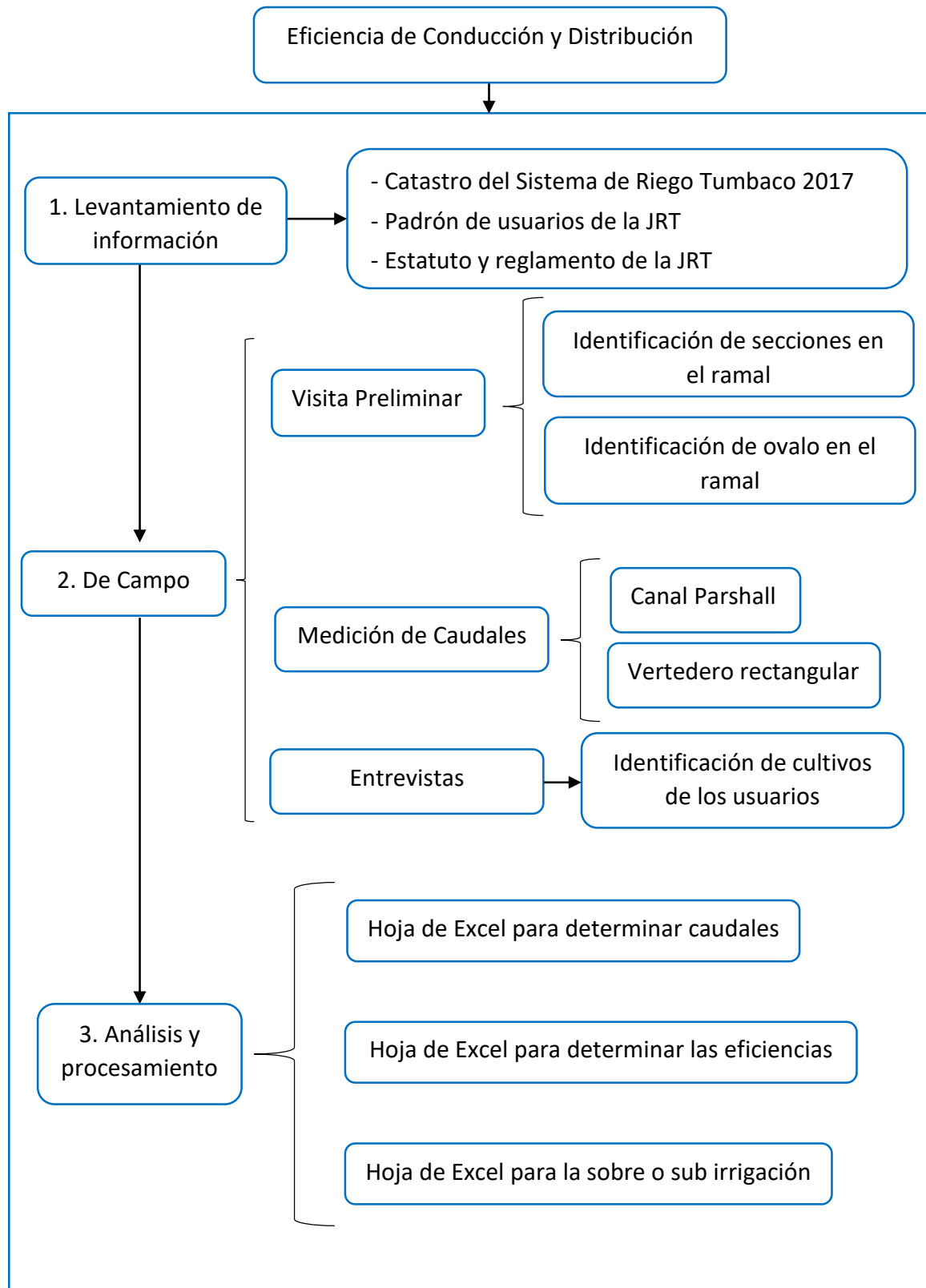
- Manual de Riego para Agricultores.* Obtenido de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941Fundamento_del_riego_1.pdf
- Fernández, R., Milla, M., Ávila, R., Berengena, J., Gavilán, P., & Oyonarte, N. (2010). *Manual de Riego para Agricultores Módulo 2.* Obtenido de https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160940Riego_por_superficie_baja.pdf
- GAD Alangasí. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Alangasí.* Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768124430001_PD_Y_OT,ALANGASÍ_30-10-2015_09-07-23.pdf
- GAD La Merced. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.* 200. Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768098920001_PDYOT_FINAL_PARROQUIA_LA_MERCED_29-10-2015_15-55-17.pdf
- GAD PICHINCHA. (2014). *Diagnóstico de Riego y Drenaje de la provincia de Pichincha.* Obtenido de [http://181.112.151.230:8081/attachments/download/683/Diagnóstico de Riego y Drenaje de la provincia de Pichincha.pdf](http://181.112.151.230:8081/attachments/download/683/Diagnóstico_de_Riego_y_Drenaje_de_la_provincia_de_Pichincha.pdf)
- GAD Tumbaco. (2012). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial.* Obtenido de http://181.112.151.230:8081/attachments/download/594/PDOT_TUMBACO_2012.pdf
- GEAAH. (2015). Coeficiente de cultivo (Kc). Recuperado Febrero 8, 2019, obtenido de Hydrosols-Geahh website: <http://hydrosols-geahh.blogspot.com/2015/12/coeficiente-de-cultivo-kc.html>
- IICA. (2017). *El agua para la agricultura de las Américas* (V. Villalobos, M. García, & F. Ávila, Eds.). Obtenido de <http://www.iica.int>
- IRRINEWS. (2017). La importancia del riego en la agricultura. Recuperado Febrero 16, 2020, obtenido de EL UNIVERSO website: <https://irrinews.com/2017/02/21/la-importancia-del-riego-en-la-agricultura/>
- Janett, R. (2014). 1 Necesidades de agua de los cultivos.pdf. Recuperado Octubre 22, 2018, obtenido de <https://es.scribd.com/document/250682435/1-NECESIDADES-DE-AGUA-DE-LOS-CULTIVOS-pdf>
- Jiménez, S. (2016). ¿Cuanta agua de lluvia aprovechan los cultivos? Recuperado Noviembre 5, 2018, obtenido de Hidráulica Fácil website: <https://www.hidraulicafacil.com/2016/11/precipitacion-efectiva.html>
- JRT. (2018). Estatutos y Reglamento de la Junta de Riego Tumbaco. Quito-Tumbaco.
- Loba, J., Ramírez, S., & Díaz, J. E. (2011). Evaluación del coeficiente de uniformidad en cuatro emisores de riego usando filtración gruesa de flujo ascendente en capas. In *Revista EIA*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n16/n16a03.pdf>
- MAGAP. (2013). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2012 - 2027.* 1, 605. Obtenido de http://www.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2017/06/01PPP2013-PNRD_version-9.pdf
- Maigua, C. (2016). *Caracterización predial y de infraestructura del Sistema de Riego Tumbaco ramal Churoloma, Zona 2, 2016* (Universidad Central del Ecuador). Obtenido de

- <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13058/1/T-UCE-0004-44-2017.pdf>
- Méndez, B. (2012). *Evaluación de la situación administrativa y técnico de la unidad de riego de Atescatempa, Jutiapa* (Universidad Rafael Landívar). Obtenido de <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/06/03/Mendez-Byron.pdf>
- Mérida, H. (2017). *Análisis de la eficiencia de distribución de agua del sistema de riego por aspersión de la aldea Quilín, Chiantla, Huehuetenango*. Obtenido de <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2017/06/07/Merida-Hector.pdf>
- MINAGRI. (2015). *Manual para el cálculo de eficiencia para sistemas de riego*. Obtenido de http://minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf
- Núñez, R. (2013). *Determinación de la eficiencia de conducción del canal de riego del Centro Poblado Tartar Distrito de Baños del Inca - Cajamarca* (Universidad Nacional De Cajamarca). Obtenido de http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/514/T_627.52_N962_2013.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ochoa, E. (2017). *Caracterización predial y de infraestructura del sistema de riego Tumbaco - Ramal Churoloma (Zona 1), 2016*. (Universidad Central del Ecuador). Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13344>
- Oliveras, J. (2016). Canal Parshall, casi cien años midiendo caudales - HidroJING. Recuperado Abril 11, 2019, obtenido de <http://www.hidrojing.com/canal-parshall-casi-cien-anos-midiendo-caudales/>
- Ortiz, R. (2017). Necesidades-hídricas-de-los-CULTIVOS. (p. 28). p. 28. Quito.
- Otero, Á., Montoya, F., & García, C. (2017). *Programación del riego* (Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología del INIA, Ed.). Obtenido de [http://inia.uy/Publicaciones/Documentos compartidos/st 232_2017.pdf](http://inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/st_232_2017.pdf)
- Oviedo, A., & Liotta, M. (2013). *Sistemas Olivícolas Familiares del centro-oeste del Valle del Tulúm*. Obtenido de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_hoja_informativa_riego_por_goteo_olivo-_julio_.pdf
- Pedroza, E. (2001). *Canal Parshall* (I. Rivas, Ed.). Obtenido 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](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)
- PSI. (2004). *Determinación de Eficiencias de Conducción y Distribución*. 69. Obtenido de http://www.psi.gob.pe/wp-content/uploads/2016/03/biblioteca_manuales_determinacion_eficiencias.pdf
- Ramos, A. (2016). *La organización de regantes del sistema de riego El Pisque, un aliado en el desarrollo local* (Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales Sede Ecuador). Obtenido de www.flacsoandes.edu.ec
- Rivera, M. de L. (2017). *Evaluación de la eficiencia de riego de un equipo pivote central y su relación con el consumo de energía eléctrica en bombeo*. Obtenido de [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42745/Rivera García María de Lourdes.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42745/Rivera_García_María_de_Lourdes.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Román, F., Bleuze, S., Guillaume, J., Bernita, D., Mosquera, T., & Rivera, H. (2011). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2011-2026*. Obtenido de

- <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>
- Saenz, C. (2014). Conocer el balance hídrico como herramienta para optimizar el uso del agua. Recuperado Octubre 14, 2018, obtenido de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria website: <https://inta.gob.ar/documentos/conocer-el-balance-hidrico-como-herramienta-para-optimizar-el-uso-del-agua>
- Sánchez, E., & Vinuesa, C. (2007). *Optimización del Recurso Hídrico mediante el cambio de Método de Riego en la Comuna de Monjas Alto, Cantón Cayambe*. Obtenido de [http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/132/5/03 REC 88 MARCO TEORICO.pdf](http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/132/5/03_REC_88_MARCO_TEORICO.pdf)
- Santana, L., & Hernández, J. (2008). *Evapotranspiración Penman-Monteith*. Obtenido de <http://www.agrocabildo.com>
- SEPOR. (2010). *¿Qué es el Coeficiente de Cultivo?* Obtenido de http://agriculturers.com/wp-content/uploads/2017/09/S106_Boletin_Coeficiente_de_cultivo.pdf
- Shirakawa, Y. (2018). Medición de caudal - Hidrológica Ambiental. Recuperado Octubre 24, 2018, obtenido de SCRIBD website: <https://es.scribd.com/doc/95004915/Informe-medicion-de-Caudal>
- Skertchly, L. (1988). *Manual de diseño de estructuras de aforo*. Obtenido de http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/825/IMTA_013.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sokolov, & Chapman. (1981). *Methods for Water Balance Computation. No 17 de la serie "Studies and Reports in Hydrology."* Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001377/137771so.pdf>
- Tarjuelo. (2016). Cantidad de agua a aportar por día y por planta - Fórmula. Recuperado Octubre 24, 2018, obtenido de Traxco website: <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/cantidad-de-agua-a-aplicar?fbclid=IwAR3XhYjfdluuva9rIL-7uAFcD-5YocnBci0Z0LSVXDcAzjVFIllexreKizyM>
- UCLM. (2001). *Los riegos por superficie*. Obtenido de https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/PresentacionesPDF_STR/RiegosAPie.pdf

IX. ANEXOS

Anexo 1. Metodología del proyecto.



Anexo 2. Fotografías de la visita preliminar del ramal.



Figura 21. Entrada del ramal La Merced.



Figura 22. Captación del agua del canal principal hacia al ramal.



Figura 23. Compuerta de entrada del ramal.



Figura 24. Sección 1 del ramal.



Figura 25. Sección 2 del ramal.



Figura 26. Malezas dentro del ramal.



Figura 27. Válvula de los óvalo 4-5.



Figura 28. Acequia perteneciente del óvalo 4-5.

Anexo 3. Fotografías de las mediciones del ramal.



Figura 29. Instalación del canal Parshall en la sección 1 del ramal.



Figura 30. Medición con el canal Parshall en la sección 1 del ramal.

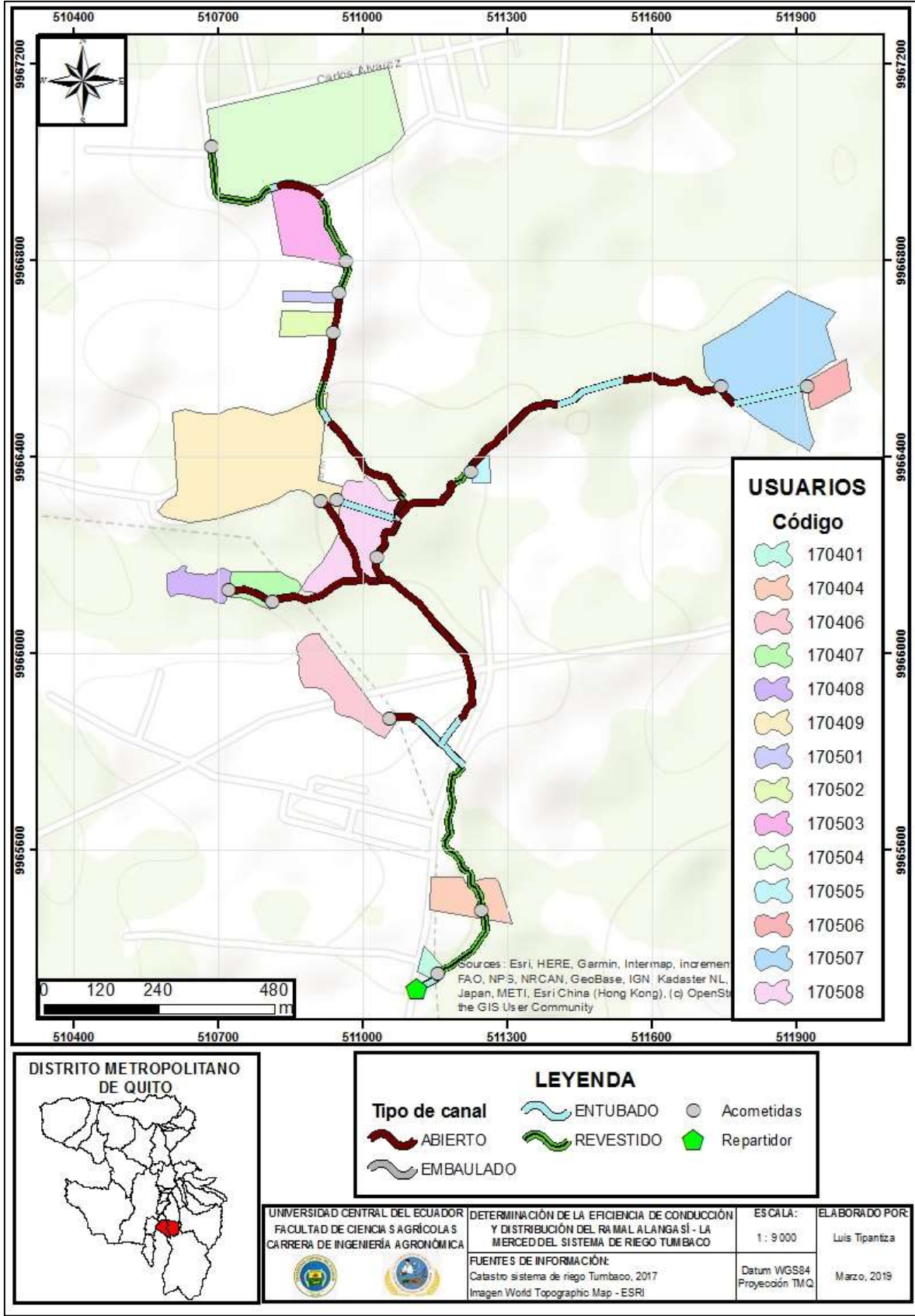


Figura 31. Medición con el canal Parshall en la sección 2 del ramal.

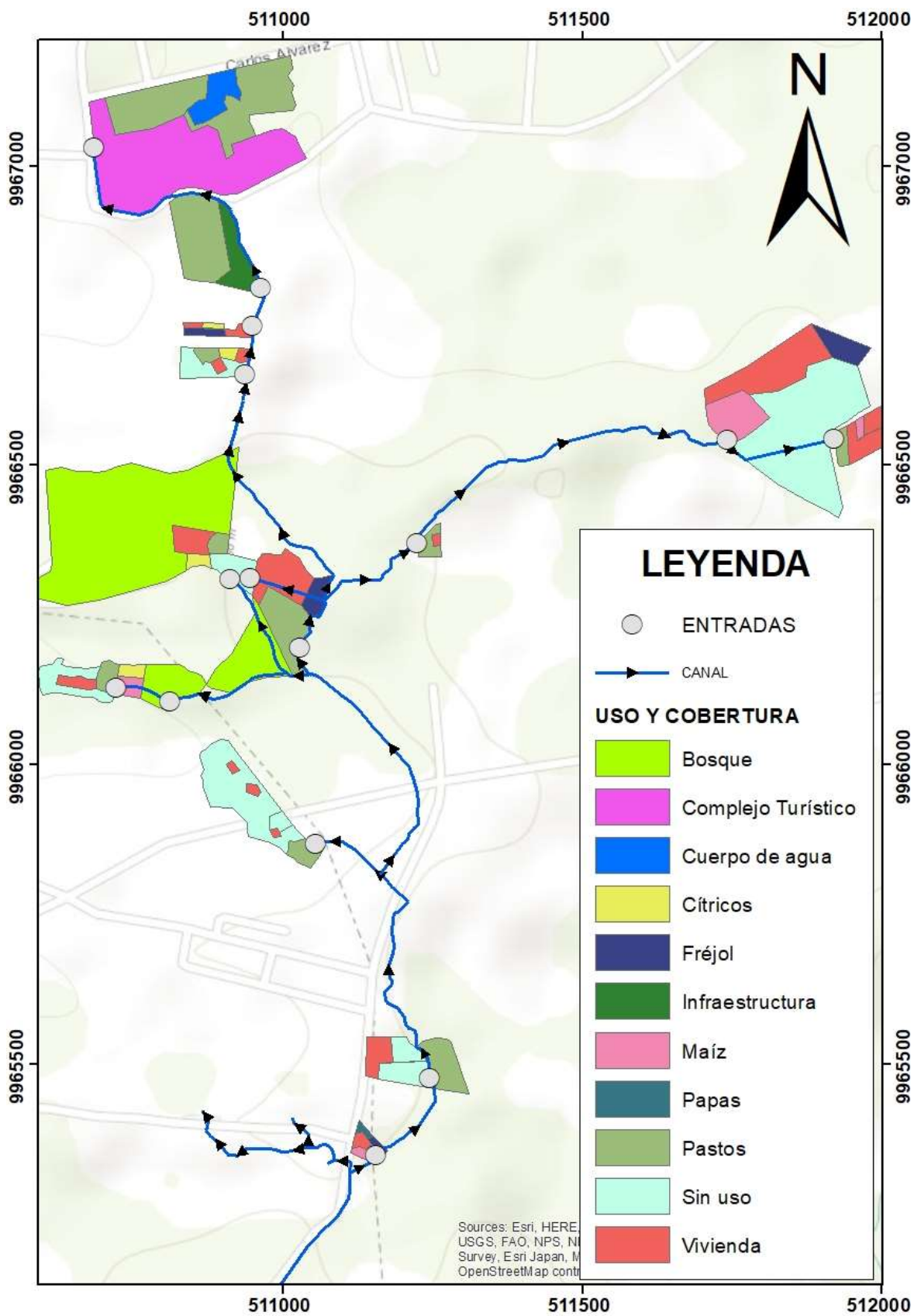


Figura 32. Medida de la carga hidráulica de la sección 2.

Anexo 4. Mapa de distribución de usuarios del óvalo 4-5.



Anexo 5. Flujo del agua y uso del suelo de los usuarios presentes en el óvalo 4-5.



Anexo 6. Fotografías de las mediciones en el óvalo 4-5.



Figura 33. Vertedero rectangular sin contracciones.



Figura 34. Instalación del vertedero en la entrada del primer usuario.



Figura 35. Medición en el primer usuario.



Figura 36. Medición en el usuario 5.



Figura 37. Cultivo de pasto presente en un usuario.



Figura 38. Registro de datos obtenidos del vertedero.



Figura 39. Entrevistas realizadas a diferentes usuarios.

Anexo 7. Guía de la entrevista.

Guía de entrevistas a los usuarios relacionadas a la percepción de los agricultores del sistema de riego

Dirigida a usuarios del Sistema de Riego Tumbaco.

Buenos días mi nombre es, estudiante de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador, realizo una investigación para la elaboración mi proyecto de tesis titulado Determinación de la eficiencia de conducción y distribución en el ramal “Alangasí - La Merced” del sistema de riego Tumbaco. Por lo que solicito su colaboración para responder las siguientes preguntas:

ASPECTOS GENERALES

1. Nombre del Usuario _____

Sexo: M ☐ F ☐

2. ¿Usted actualmente pertenece a la Junta de Riego Tumbaco?

SI ☐ NO ☐

3. ¿Cuántos años es usuario de la Junta de Riego Tumbaco?

1 – 5 ☐ 5 - 10 ☐ 10 – 15 ☐ Más de 20 ☐

4. ¿A qué óvalo pertenece del ramal?

PRODUCCION

5. ¿Qué cultivo(s) presenta su predio?

Cultivo	Superficie	Estado fenológico

6. ¿Cuántos kg/qq/sacos produce el cultivo de en su predio? _____

7. ¿Tiene problemas de plagas y/o enfermedades en su cultivo?

SI ☐ NO ☐

8. ¿Qué plagas y/o enfermedades se presenta en el cultivo de?

FRECUENCIA DE ENTREGA DE AGUA

9. ¿Tiene un turno de riego actual?

10. ¿Cada que tiempo usted recibe el agua del ovalo para su predio?

11. ¿Cuantos litros de agua y tiempo de turno recibe del ovalo?

CAUDAL

12. ¿Cómo considera que es el caudal que recibe actualmente de la junta?

13. ¿Usted considera que la distribución del agua en el óvalo es justa y equitativa?

ORGANIZACIÓN DEL OVALO

14. ¿Quién opera la distribución del agua en el óvalo?

15. ¿Cuantas veces se reúnen con la persona encargada de operar el óvalo?

16. ¿Se reúnen todos los usuarios para la programación de los turnos de riego del óvalo?

17. ¿Si se programan los turnos se entrega los caudales establecidos anteriormente?

18. ¿Cuál es la relación con la Junta de Riego Tumaco?

19. ¿La Junta de Riego realiza capacitaciones y si las hace sobre qué temas son?

20. ¿Cuál es la tarifa del agua actual que paga a la Junta de Riego?

21. ¿Cuál sería el cambio sugerido para la actual directiva de la Junta de Riego?

Por su atención prestada, muchas gracias y deseándole éxitos en sus actividades.

Anexo 8. Entrevista realizada al usuario del ramal Alangasí - La Merced.

- **Usuario 170404:** Sr. José Ango

El señor José Ango menciona que pertenece al sistema de riego Tumbaco y es usuario de más de 45 años, y ha sentido como ha ido evolucionando el sistema. Manifiesta que desde perteneció a la junta , no existía problemas con la distribución del agua, menciona que todo el tiempo fluía el agua de riego en las acequias, sus cultivos producían sin problema y vendían en mercados cercanos, había abundante hierba para sus cabezas de ganado y no sufrían de hambre. El señor afirma que desde hace 6 años comenzaron los problemas, debido a que el consejo provincial vino a instalar un tramo con una tubería de menor dimensión, aparte existen válvulas que impiden el paso del agua y por ende pasan 15 días sin agua, el caudal que tenían antes no se compara con el de ahora, antes podía regar 5 o 6 horas sin que se corte o se reduzca el caudal. Menciona que la tubería se instaló sin estudio previo, no se realizan cálculos para implantar según el caudal que proviene desde la bocatoma, y que tampoco se trabajó con la directiva del ramal. Este problema hace que pasen días sin agua y no puedan hacer nada por sus cultivos, esto ha generado el abandono de la agricultura, ya no es rentable como antes por la falta de agua, también afirma que la Junta ya no se preocupa por los usuarios de este ramal, no se realizan reuniones y solo llegan las notificaciones por falta de pago al uso del agua, que las obras no llegan al ramal y solo se beneficia el sector de Tumbaco.

Afirma que también no existe una persona a tiempo completo para el manejo y operación del ramal, el presidente actual por motivos de trabajo viene cada 15 días pero no reúne a los usuarios para conocer los problemas que se está dando en cada ovalo, una recomendación que hace es que se debería cambiar el tramo entubado con uno que cumpla las condiciones del lugar, porque todo se originó desde la implementación de la tubería, pide a la Junta de Riego Tumbaco que se una solución al ramal La Merced.

También pide que se embaulé los tramos que se encuentran en predios que no son usuarios, porque se roban y no dan paso al agua con normalidad, la mayoría de fincas se encuentran en la parte intermedia del ramal y utilizan el agua sin ser usuarios, y generan problemas de reducción del caudal en los usuarios del sector de la Cocha.

Problema presente en el Ramal Alangasí - La Merced

El problema que se evidenció en la sección 3 es la implementación de la infraestructura no acorde al caudal que entra desde el canal principal, seguidamente del tramo embaulado se encuentra instalada una tubería de acero que conduce hasta un repartidor. Esta tubería no es adecuada

porque el diámetro no es el correcto para la captación del agua procedente del canal principal y tampoco permite el transporte continuo del agua. La implementación de una tubería de menor dimensión ha generado varios problemas en el ramal.

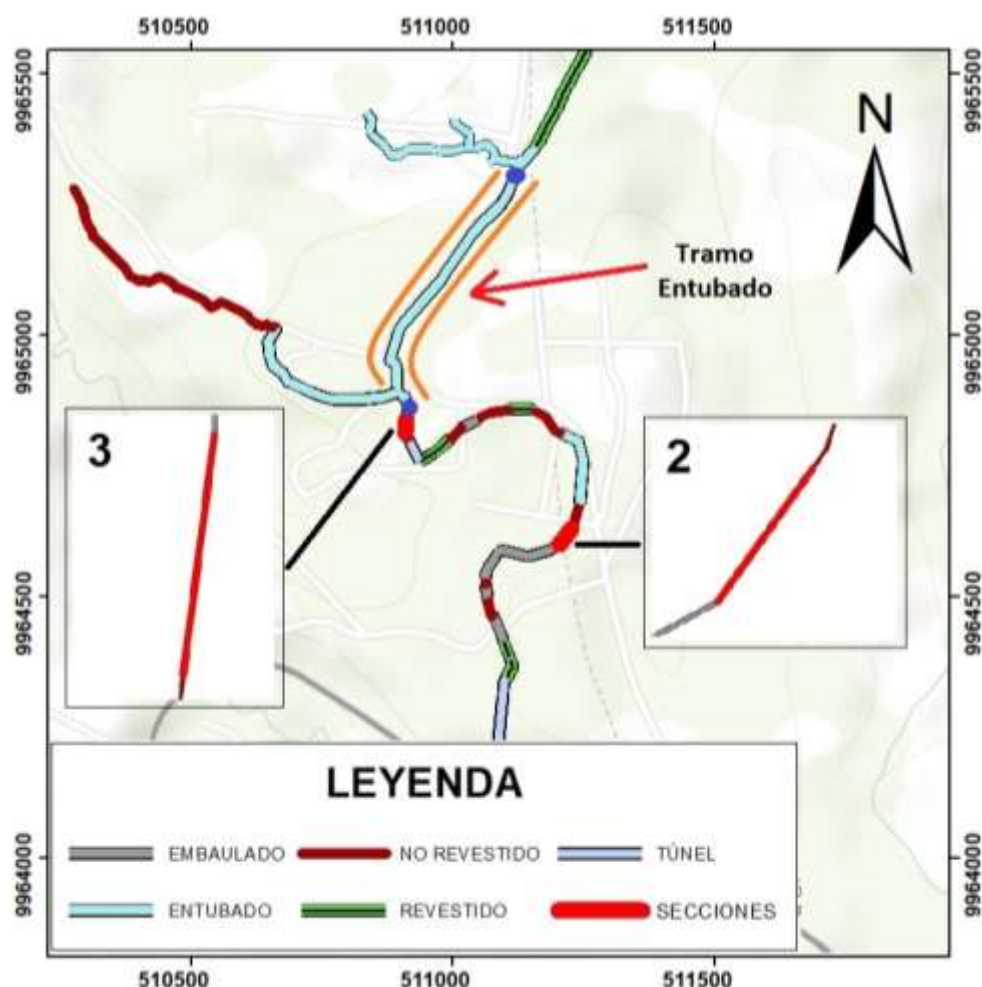


Figura 40. Tubería implementada en el ramal.

- Esta tubería ha provocado un malestar al propietario del predio el señor Pedro Herrera Ojeda, debido a que parte de un tramo del canal se encuentra en dentro de su predio, el problema se le presenta cuando el caudal viene en mayor proporción y esto hace que se produzca la acumulación del agua sobrepasando el nivel de las paredes del canal, en consecuencia ha provocado que se desborde y se inunde parte de su terreno, así afectando a los cultivos presentes. Siendo este usuario el mayor afectado por este problema.
- Los usuarios del sector de Pacay y de La Cocha también son afectados por este problema de tubería, debido a que al final de la tubería se encuentra el repartidor para las 2 zonas. Afirman que la instalación de la tubería les ha reducido el tiempo de riego y el caudal del agua, mencionan que antes tenían el agua todo el tiempo y con un caudal ideal para regar

en sus predios, a raíz de este problema algunos usuarios han renunciado a pertenecer al Sistema de Riego Tumbaco.



Figura 41. Acumulación del agua después de la sección 3.



Figura 42. Filtración del agua a través de la pared.



Figura 43. Predio afectado por la mala implementación de la tubería.



Figura 44. Caja de revisión de la tubería.



Figura 45. Tramo Inicial de la tubería.



Figura 46. Tramo final de la tubería.

Según la información levantada de los usuarios esta implementación de tubería es producto de una mal rediseño debido a que no se realizaron estudios previos para determinar las dimensiones adecuadas de tubería para este tipo de canal, otro factor es que la institución encargada en este proyecto no trabajo conjuntamente con la Junta de Riego y con el presidente del ramal generando una mala descoordinación a la hora de instalar la tubería. Este proyecto ha traído consecuencias desde hace 6 años en los usuarios, que ha ocasionado una mala distribución del agua en los usuarios, reducción del caudal y abandono de la agricultura.

Anexo 9. Requerimiento hídrico de los principales cultivos del ramal Alangasí - La Merced.

Tabla 18. Necesidad hídrica del cultivo de maíz.

REQUERIMIENTOS DE AGUA															
CULTIVO:		Maíz		CC		22,1 %		Capac. Almacenamient		48,2 mm					
Estación:		LA TOLA		MP		6,8 %		Dosis neta de riego:		24,0975 mm					
Frecuencia de Riego:		15 días		p		50,0 %		Aportación inicial:		0 mm/mes					
Textura:		Franco Arenoso		Pradicular		315,0 mm		Área Parcela:		809,7 m ²					
Sistema Riego:		Gravedad		Efa		45,0 %		Caudal ingreso:		6,01 l/s					
MES	ET _o mm/día	Valores de Kc Con Cultivo		Valores de Kc Sin Cultivo		ET _r mm/mes	P75% mm/mes	P. Efectiva mm/día	Precip. efect. mm/mes	Balance Hídrico mm/mes	NHM mm/mes	NHD mm/día	Lámina Total mm	Volumen m ³	T.Riego Horas
ENE	3,03	31,00	1,20	0,00	-	112,67	41,3	0,94	29,16	83,51	83,51	3,18	105,85	85,71	3,96
FEB	2,87	29,00	1,00	0,00	-	83,30	45,5	1,08	31,18	52,12	52,12	1,90	63,32	51,27	2,37
MAR	2,64	31,00	0,70	0,00	-	57,20	75,9	1,59	49,17	8,03	8,03	0,25	8,25	6,68	0,31
ABR	2,55	0,00	-	30,00	0,70	53,58	74,8	1,60	47,99	5,58	5,58	0,17	5,55	4,49	0,21
MAY	2,81	0,00	-	31,00	0,70	60,94	43,3	0,97	30,01	30,93	30,93	1,08	35,85	29,03	1,34
JUN	3,45	0,00	-	30,00	0,70	72,48	10,9	0,25	7,47	65,01	65,01	2,42	80,56	65,23	3,01
JUL	4,03	0,00	-	31,00	0,70	87,40	4,0	0,04	1,29	86,10	86,10	3,28	109,43	88,61	4,10
AGO	4,49	0,00	-	31,00	0,70	97,52	2,6	0,00	0,00	97,52	97,52	3,76	125,35	101,49	4,69
SEP	3,69	0,00	-	30,00	0,70	77,57	24,9	0,62	18,70	58,87	58,87	2,17	72,31	58,55	2,71
OCT	2,96	31,00	0,70	0,00	-	64,16	75,6	1,62	50,08	14,08	14,08	0,46	15,21	12,32	0,57
NOV	2,73	30,00	0,89	0,00	-	72,79	57,2	1,27	38,22	34,57	34,57	1,21	40,48	32,77	1,51
DIC	2,84	31,00	1,18	0,00	-	103,73	46,3	1,03	31,97	71,76	71,76	2,69	89,72	72,65	3,36
ANUAL						943,34	501,85		335,24		608,10				
Necesidad Hídrica Diaria Máxima:						3,76	mm/día			Lámina total máxima:			125,35	mm	
Caudal Neto en el Período de Punta (q):						0,44	l/s/ha - 24 horas			Volumen máximo:			101,49	m ³	
Caudal total en el Período de Punta (q):						0,97	l/s/ha - 24 horas			Tiempo de Riego máximo:			4,69	Horas	

Tabla 19. Necesidad hídrica del cultivo de fréjol.

REQUERIMIENTOS DE AGUA															
CULTIVO:		Frejol		CC		22,1 %		Capac. Almacenamient		48,2 mm					
Estación:		LA TOLA		MP		6,8 %		Dosis neta de riego:		21,68775 mm					
Frecuencia de Riego:		15 días		p		45,0 %		Aportación inicial:		0 mm/mes					
Textura:		Franco Arenoso		Pradicular		315,0 mm		Área Parcela:		541,3 m ²					
Sistema Riego:		Gravedad		Efa		45,0 %		Caudal ingreso:		6,01 l/s					
MES	ET _o mm/día	Valores de Kc Con Cultivo		Valores de Kc Sin Cultivo		ET _r mm/mes	P75% mm/mes	P. Efectiva mm/día	Precip. efect. mm/mes	Balance Hídrico mm/mes	NHM mm/mes	NHD mm/día	Lámina Total mm	Volumen m ³	T.Riego Horas
ENE	3,03	31,00	0,49	0,00	-	46,01	41,3	0,92	28,43	17,58	17,58	0,59	19,55	10,58	0,49
FEB	2,87	0,00	-	29,00	0,45	37,49	45,5	1,05	30,40	7,08	7,08	0,22	7,26	3,93	0,18
MAR	2,64	0,00	-	31,00	0,45	36,77	75,9	1,55	47,94	-11,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ABR	2,55	0,00	-	30,00	0,45	34,44	74,8	1,56	46,80	-21,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAY	2,81	0,00	-	31,00	0,45	39,17	43,3	0,94	29,26	-11,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
JUN	3,45	0,00	-	30,00	0,45	46,59	10,9	0,24	7,28	27,54	27,54	0,96	31,89	17,26	0,80
JUL	4,03	0,00	-	31,00	0,45	56,18	4,0	0,04	1,26	54,92	54,92	2,03	67,67	36,63	1,69
AGO	4,49	0,00	-	31,00	0,45	62,69	2,6	0,00	0,00	62,69	62,69	2,35	78,18	42,32	1,96
SEP	3,69	0,00	-	30,00	0,45	49,86	24,9	0,61	18,23	31,64	31,64	1,11	37,09	20,08	0,93
OCT	2,96	31,00	0,45	0,00	-	41,25	75,6	1,58	48,83	-7,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NOV	2,73	30,00	1,00	0,00	-	81,79	57,2	1,24	37,27	36,94	36,94	1,32	43,92	23,78	1,10
DIC	2,84	31,00	1,15	0,00	-	101,10	46,3	1,01	31,17	69,92	69,92	2,64	88,05	47,66	2,20
ANUAL						633,35	501,85		326,87		308,32				
Necesidad Hídrica Diaria Máxima:						2,64	mm/día			Lámina total máxima:			88,05	mm	
Caudal Neto en el Período de Punta (q):						0,31	l/s/ha - 24 horas			Volumen máximo:			47,66	m ³	
Caudal total en el Período de Punta (q):						0,68	l/s/ha - 24 horas			Tiempo de Riego máximo:			2,20	Horas	

Tabla 20. Necesidad hídrica del cultivo de papa.

REQUERIMIENTOS DE AGUA															
CULTIVO:				Patata		CC		22,1 %		Capac. Almacenamient		53,6 mm			
Estación:				LA TOLA		MP		6,8 %		Dosis neta de riego:		18,7425 mm			
Frecuencia de Riego:				15 días		p		35,0 %		Aportación inicial:		0 mm/mes			
Textura:				Franco Arenoso		Pradicular		350,0 mm		Área Parcela:		352,9 m ²			
Sistema Riego:				Gravedad		Efa		45,0 %		Caudal ingreso:		6,01 l/s			
MES	ETo mm/día	Valores de Kc Con Cultivo		Valores de Kc Sin Cultivo		ETr mm/mes	P75% mm/mes	P. Efectiva mm/día	Precip. efect. mm/mes	Balance Hídrico mm/mes	NHM mm/mes	NHD mm/día	Lámina Total mm	Volumen m ³	T.Riego Horas
		Días	Kc	Días	Kc										
ENE	3,03	31,00	1,05	0,00	-	98,58	41,3	0,89	27,49	71,09	71,09	2,73	90,84	32,06	1,48
FEB	2,87	29,00	1,04	0,00	-	86,63	45,5	1,01	29,40	57,23	57,23	2,15	71,71	25,31	1,17
MAR	2,64	31,00	0,84	0,00	-	68,64	75,9	1,50	46,37	22,28	22,28	0,77	25,64	9,05	0,42
ABR	2,55	0,00	-	30,00	0,50	38,27	74,8	1,51	45,26	-6,99	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAY	2,81	0,00	-	31,00	0,50	43,53	43,3	0,91	28,30	8,24	8,24	0,26	8,67	3,06	0,14
JUN	3,45	0,00	-	30,00	0,50	51,77	10,9	0,23	7,04	44,73	44,73	1,64	54,82	19,35	0,89
JUL	4,03	0,00	-	31,00	0,50	62,43	4,0	0,04	1,22	61,21	61,21	2,31	77,16	27,23	1,26
AGO	4,49	0,00	-	31,00	0,50	69,66	2,6	0,00	0,00	69,66	69,66	2,67	88,85	31,36	1,45
SEP	3,69	0,00	-	30,00	0,50	55,41	24,9	0,59	17,63	37,78	37,78	1,37	45,60	16,09	0,74
OCT	2,96	31,00	0,50	0,00	-	45,83	75,6	1,52	47,22	-1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NOV	2,73	30,00	0,57	0,00	-	46,62	57,2	1,20	36,04	9,19	9,19	0,29	9,76	3,45	0,16
DIC	2,84	31,00	0,98	0,00	-	86,15	46,3	0,97	30,15	56,00	56,00	2,10	70,04	24,72	1,14
ANUAL						753,52	501,85		316,12		437,40				
Necesidad Hídrica Diaria Máxima:						2,73	mm/día				Lámina total máxima:			90,84	mm
Caudal Neto en el Período de Punta (q):						0,32	l/s/ha - 24 horas				Volumen máximo:			32,06	m ³
Caudal total en el Período de Punta (q):						0,70	l/s/ha - 24 horas				Tiempo de Riego máximo:			1,48	Horas

Tabla 21. Necesidad hídrica del cultivo de pastos.

REQUERIMIENTOS DE AGUA															
CULTIVO: Estación: Frecuencia de Riego: Textura: Sistema Riego:			Pastos		CC 22,1 % MP 6,8 % p 60,0 % Pradicular 700,0 mm Efa 45,0 %		Capac. Almacenamient 107,1 mm Dosis neta de riego: 64,26 mm Aportación inicial: 0 mm/mes Área Parcela: 4571,5 m ² Caudal ingreso: 4,41 l/s								
			LA TOLA												
			15 días												
			Franco Arenoso												
			Gravedad												
MES	ETo	Valores de Kc Con Cultivo		Valores de Kc Sin Cultivo		ETr	P75%	P. Efectiva	Precip. efect.	Balance Hídrico	NHM	NHD	Lámina Total	Volumen	T.Riego
	mm/día	Días	Kc	Días	Kc	mm/mes	mm/mes	mm/día	mm/mes	mm/mes	mm/mes	mm/día	mm	m³	Horas
ENE	3,03	31,00	0,42	0,00	-	39,43	41,3	1,20	37,13	2,31	2,31	0,06	1,94	8,85	0,56
FEB	2,87	29,00	0,89	0,00	-	74,14	45,5	1,37	39,71	34,43	34,43	1,11	36,89	168,65	10,62
MAR	2,64	31,00	0,92	0,00	-	75,18	75,9	2,02	62,62	12,57	12,57	0,37	12,30	56,21	3,54
ABR	2,55	30,00	0,42	0,00	-	32,15	74,8	2,04	61,12	-28,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MAY	2,81	31,00	0,89	0,00	-	77,47	43,3	1,23	38,21	10,29	10,29	0,30	9,89	45,22	2,85
JUN	3,45	30,00	0,92	0,00	-	95,26	10,9	0,32	9,51	85,75	85,75	2,99	99,74	455,94	28,72
JUL	4,03	31,00	0,42	0,00	-	52,44	4,0	0,05	1,65	50,79	50,79	1,69	56,36	257,64	16,23
AGO	4,49	31,00	0,89	0,00	-	123,99	2,6	0,00	0,00	123,99	123,99	4,47	149,09	681,57	42,93
SEP	3,69	30,00	0,92	0,00	-	101,95	24,9	0,79	23,81	78,14	78,14	2,70	90,13	412,02	25,95
OCT	2,96	31,00	0,42	0,00	-	38,50	75,6	2,06	63,77	-25,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NOV	2,73	30,00	0,89	0,00	-	72,79	57,2	1,62	48,67	-1,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
DIC	2,84	31,00	0,92	0,00	-	80,88	46,3	1,31	40,71	39,01	39,01	1,27	42,27	193,25	12,17
ANUAL						864,18	501,85		426,90		437,28				
Necesidad Hídrica Diaria Máxima:						4,47	mm/día				Lámina total máxima:		149,09	mm	
Caudal Neto en el Período de Punta (q):						0,52	l/s/ha - 24 horas				Volumen máximo:		681,57	m ³	
Caudal total en el Período de Punta (q):						1,15	l/s/ha - 24 horas				Tiempo de Riego máximo:		42,93	Horas	

Tabla 22. Necesidad hídrica del cultivo de cítricos.

REQUERIMIENTOS DE AGUA															
CULTIVO:		Cítricos		CC		22,1 %		Capac. Almacenamient		139,2 mm					
Estación:		LA TOLA		MP		6,8 %		Dosis neta de riego:		69,615 mm					
Frecuencia de Riego:		15 días		p		50,0 %		Aportación inicial:		0 mm/mes					
Textura:		Franco Arenoso		Pradicular		910,0 mm		Área Parcela:		893,8 m ²					
Sistema Riego:		Gravedad		Efa		45,0 %		Caudal ingreso:		1,04 l/s					
MES	ET _o mm/día	Valores de Kc Con Cultivo		Valores de Kc Sin Cultivo		ET _r mm/mes	P75% mm/mes	P. Efectiva mm/día	Precip. efect. mm/mes	Balance Hídrico mm/mes	NHM mm/mes	NHD mm/día	Lámina Total mm	Volumen m ³	T.Riego Horas
ENE	3,03	31,00	0,85	0,00	-	79,81	41,3	1,22	37,70	42,11	42,11	1,37	45,61	40,77	10,89
FEB	2,87	29,00	0,85	0,00	-	70,81	45,5	1,39	40,32	30,49	30,49	0,96	32,08	28,67	7,66
MAR	2,64	31,00	0,85	0,00	-	69,46	75,9	2,05	63,58	5,88	5,88	0,16	5,33	4,77	1,27
ABR	2,55	30,00	0,85	0,00	-	65,06	74,8	2,07	62,06	3,00	3,00	0,08	2,56	2,29	0,61
MAY	2,81	31,00	0,85	0,00	-	73,99	43,3	1,25	38,80	35,19	35,19	1,13	37,51	33,53	8,95
JUN	3,45	30,00	0,85	0,00	-	88,01	10,9	0,32	9,66	78,35	78,35	2,69	89,75	80,22	21,43
JUL	4,03	31,00	0,85	0,00	-	106,12	4,0	0,05	1,67	104,45	104,45	3,68	122,78	109,74	29,31
AGO	4,49	31,00	0,85	0,00	-	118,42	2,6	0,00	0,00	118,42	118,42	4,22	140,78	125,83	33,61
SEP	3,69	30,00	0,85	0,00	-	94,19	24,9	0,81	24,17	70,01	70,01	2,38	79,39	70,96	18,95
OCT	2,96	31,00	0,85	0,00	-	77,91	75,6	2,09	64,75	13,16	13,16	0,39	12,84	11,47	3,06
NOV	2,73	30,00	0,85	0,00	-	69,52	57,2	1,65	49,42	20,10	20,10	0,61	20,37	18,21	4,86
DIC	2,84	31,00	0,85	0,00	-	74,72	46,3	1,33	41,34	33,38	33,38	1,06	35,41	31,65	8,45
ANUAL						988,02	501,85		433,48		554,54				
Necesidad Hídrica Diaria Máxima:						4,22	mm/día			Lámina total máxima:			140,78	mm	
Caudal Neto en el Período de Punta (q):						0,49	l/s/ha - 24 horas			Volumen máximo:			125,83	m ³	
Caudal total en el Período de Punta (q):						1,09	l/s/ha - 24 horas			Tiempo de Riego máximo:			33,61	Horas	

X. GLOSARIO TÉCNICO

(COMISIÓN INTERNACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE)

Acometida: Instalación por la que se deriva parte de un fluido que circula por un conducto principal.

Canal distributivo: un canal de segundo orden que se origina en el canal principal de irrigación y se alimenta en canales terciarios o canales de granjas.

Canales secundarios: canales que reciben suministros del canal principal o de los laterales o de sus sucursales, y que suministran agua a los menores, así como a ciertos puntos de venta.

Canales terciarios: canales que reciben suministros de los distribuidores y suministran agua a los sub-menores de edad, así como a ciertas salidas de irrigación.

Canales cuaternarios: canales que reciben suministros de menores y suministran agua a puntos de riego individuales.

Canal de medición: dispositivo para medir la descarga de flujos de superficie libre mediante la determinación de la profundidad del agua en una ubicación específica y haciendo referencia a las calibraciones de etapa / descarga. Generalmente tiene una longitud apreciable a lo largo del canal en comparación con una presa de medición.

Canal de medición Parshall: un dispositivo para medir el flujo de agua en conductos abiertos. Consiste esencialmente en una longitud de contracción, una garganta y una longitud de expansión. La descarga se puede determinar a partir de una medición de una sola etapa a menos que la descarga esté sumergida, en cuyo caso se requieren mediciones de dos etapas.

Canal uniforme: un canal cuya sección transversal no cambia a lo largo de su longitud, está alineado en línea recta y tiene una calificación constante.

Caudal. Cantidad de agua que mana o corre por unidad de tiempo.

Coefficiente de uniformidad de Christiansen (CU.C): un término que cuantifica la uniformidad de la aplicación de agua por cualquier método de riego, pero generalmente con rociadores. Originalmente propuesto por JE Christiansen. $CU.C = \Delta h / h$, o la relación de la media de las desviaciones absolutas de la profundidad media

Coefficiente de Cultivo (Kc.). Es un coeficiente que nos sirve para calcular la evapotranspiración del cultivo, depende de las características de las plantas y expresa la variación de su capacidad para extraer el agua del suelo durante el periodo vegetativo.

Cuotas de usuario: todas las contribuciones financieras correrán a cargo del usuario (o posiblemente de su "agricultor" en el caso del modo de gestión mediante el alquiler). Ellos remuneran al proveedor de agua y servicios.

Desagüe: La desembocadura de un río, un canal de drenaje, etc. El punto donde un canal de desechos o canal de escape deja caer su agua en un drenaje o canal natural o artificial o una depresión o tierras de desecho.

Distribuidor: Una estructura construida en un canal para distribuir su flujo ya sea entre dos o más tomas al final de un canal o entre sí mismo y una o más tomas; la división del flujo no se ve afectada por el nivel del agua en la corriente descendente de la estructura en cada canal.

Duración del riego: el período de tiempo durante el cual se permite a un irrigador la cabeza de riego, en el sistema de entregas de rotación.

Estructuras de transporte: estructuras construidas para ayudar a proporcionar un control general y el transporte del flujo desde las estructuras de admisión hasta el área a irrigar.

Estructuras de entrega: todas las estructuras (canales o tuberías y sus obras anexas, como tomas, distribuidores, caídas, estructuras de descarga, etc.) que aseguran la entrega de agua a las tierras irrigadas desde el canal principal.

Flujo uniforme: el flujo en un canal abierto con parámetros, como el área de la sección transversal, la velocidad y la pendiente hidráulica, permanecen constantes de una sección a otra. La línea de superficie en este caso es paralela a la línea de fondo.

Flujo no uniforme inestable: Un flujo donde la velocidad varía tanto con la distancia como con el tiempo; la velocidad de las partículas de fluido cambia de un punto a otro, y la velocidad de las partículas que pasan por cualquier punto dado cambia de instante en instante.

Maleza: los arbustos, brotes, plántulas, árboles jóvenes y todas las plantas herbáceas en un bosque.

Presa rectangular: una presa de medición de cresta aguda con una muesca rectangular. Puede ser contraído o suprimido.

Riego por inundación: sistema de riego en el que el agua se extrae directamente del flujo de un arroyo sin almacenamiento.

Sistema de distribución: Red de canales o tuberías que atienden a los usuarios desde un canal o tubería principal.

Sub irrigación: Riego insuficiente con respecto al requisito real, ya sea debido a dosis insuficientes de agua o debido a un intervalo de riego excesivo o incluso debido a una subestimación de los requisitos reales.