



1859

Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales
Renovables

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Título

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN
SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y
MICROASPERSIÓN EN EL PREDIO “LA
DOLOROSA” DE LA PARROQUIA
CHUQUIRIBAMBA, CANTÓN Y PROVINCIA DE
LOJA**

Tesis de grado previa a
la obtención del título de
Ingeniera Agrícola

Diana Elizabeth Aguinaca Medina.

Autora

Ing. Geovanni Fernando Gaona Aguirre Mg. Sc.

Director

Loja – Ecuador
2020

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Ing. Geovanni Fernando Gaona Aguirre Mg. Sc.,

DIRECTOR DE TESIS Y DOCENTE DE LA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

CERTIFICACIÓN

En calidad de Director de la tesis titulada **“DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN EN EL PREDIO “LA DOLOROSA” DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”**, de la autoría de la señorita egresada de la carrera de Ingeniería Agrícola, Diana Elizabeth Aguinaca Medina, ha concluido dentro del cronograma establecido y autorizó que se continúe con el trámite de graduación.

Loja, 20 de febrero del 2020



.....
Ing. Geovanni Fernando Gaona Aguirre Mg. Sc.,

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de tribunal calificador de la tesis titulada, “DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN EN EL PREDIO “LA DOLOROSA” DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”, de autoría de la señorita egresada de la carrera de Ingeniería Agrícola, **Diana Elizabeth Aguinosa Medina**, certificamos que se ha incorporado al trabajo final de tesis, todas las sugerencias efectuadas por sus miembros, por lo que autorizamos su impresión y publicación.

Loja, 16 de marzo del 2020



Ing. Aníbal Eduardo González González, M.Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Ing. Marco Ángel Reinoso Ácaro, M.Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL



Ing. Wilman Eduardo Aldeán Guamán M.Sc.

VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTORÍA

Yo Diana Elizabeth Aguiñaca Medina, declaro ser la autora del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Repositorio Institucional- Biblioteca Virtual.

Autora: Diana Elizabeth Aguiñaca Medina.

Firma: .....

Cédula: 1105661134

Fecha: Loja, 19 de junio del 2020

CARTA DE AUTORIZACIÓN

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO

Yo, Diana Elizabeth Aguinaca Medina, declaro ser autora de la tesis titulada **“DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN EN EL PREDIO “LA DOLOROSA” DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA”**, como requisito para optar al grado de Ingeniero Agrícola, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y el exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 19 días del mes del dos mil veinte, firma el autor.

Firma: .....

Autor: Diana Elizabeth Aguinaca Medina

Número de cedula: 1105661134

Dirección: Loja, Celi Román y Av. Occidental de paso.

Teléfono: 2721014

Celular: 0982974705

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de tesis: Ing. Geovanni Fernando Gaona Aguirre Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Aníbal Eduardo González González Mg. Sc.

Ing. Wilman Eduardo Aldeán Guamán Mg. Sc.

Ing. Marco Ángel Reinoso Acaro Mg. Sc.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por permitirme culminar mi etapa académica y por bendecirme con salud y vida, a mis padres José y Juana quienes son los principales promotores del cumplimiento de esta importante etapa en mi vida, por creer en mí y decirles que muchos de mis logros son por ellos y para ellos , a mis hermanos Andrea y Eduardo por siempre estar presentes y mis más sinceros agradecimientos al Ing. Luis Guayllas por su apoyo incondicional, paciencia y entrega con mi persona, sin él no hubiera sido posible la finalización de este proyecto.

A la Universidad Nacional de Loja, Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales; Carrera de Ingeniera Agrícola por permitirme capacitarme y formarme con docentes y autoridades de calidad, pisar sus aulas y forjarme como la nueva profesional.

Al Ingeniero Giovanni Gaona, DIRECTOR DE TESIS, por su asesoramiento y orientación constante, he logrado cumplir con cada uno de los objetivos propuestos y he logrado culminar con éxito el presente trabajo. Al Ingeniero Pedro Guaya quien, por sus palabras de apoyo, a Tania, Jessica, Fanny y Anthony por estar presentes no solo en esta etapa tan importante sino en cada momento ofreciéndome su amistad incondicional y a todos y cada una de las personas que contribuyeron a que este sueño se haga realidad.

DEDICATORIA

Dedicada a mis padres por su apoyo incondicional, cariño, dedicación y mi principal motivación para obtener este nuevo triunfo, a mi familia y a la Universidad Nacional de Loja que me ha brindado un sin número de oportunidades.

TABLA DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS	ii
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iii
AUTORÍA	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
TABLA DE CONTENIDO	viii
TABLA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABLAS	xvii
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxii
1 INTRODUCCIÓN	1
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Riego e ingeniería de riego.....	3
2.1.1 Métodos de riego.....	3
2.1.1.1 Riego por aspersión.	5
2.1.1.2 Riego por microaspersión.....	5
2.1.1.3 Riego por goteo.	5
2.1.1.4 Consideraciones generales del riego por aspersión, microaspersión y riego por goteo: Ventajas y desventajas.	6
2.1.2 Componentes básicos de un sistema de riego.	8
2.1.2.1 Cabezal de riego.	8
2.1.2.2 Equipos de prefiltrado y filtrado.	8
2.1.2.3 Manómetros.....	9
2.1.2.4 Aplicadores de fertilizantes.....	9
2.1.3 Tuberías.....	10
2.1.3.1 Accesorios.	10
2.2 Relación suelo-agua-planta	11
2.2.1 Propiedades físicas del suelo.	11

2.2.1.1	Textura.	12
2.2.1.2	Estructura.	13
2.2.1.3	Consistencia.	13
2.2.1.4	Densidad.	13
2.2.1.5	Porosidad.	14
2.2.1.6	Profundidad.	14
2.3	Contenido de agua en el suelo.	14
2.4	Clases de agua en el suelo.	15
2.4.1	Agua higroscópica o no disponible.	15
2.4.2	Agua capilar o agua disponible.	15
2.4.3	Agua gravitacional o agua de drenaje.	16
2.5	Constantes hidrofísicas.	16
2.5.1	Saturación.	16
2.5.2	Capacidad de campo.	16
2.5.3	Punto de marchitez permanente.	16
2.5.4	Agua útil o disponibilidad total para la planta.	17
2.5.5	Umbral de riego (UR).	17
2.6	Energía de agua en el suelo.	17
2.6.1	Potencial total (ϕ_t).	18
2.6.2	Potencial mátrico (ϕ_m).	18
2.6.3	Potencial gravitacional (ϕ_g).	18
2.6.4	Potencial osmótico (ϕ_o).	19
2.6.5	Potencial de presión (ϕ_p).	19
2.7	Movimiento de agua en el suelo.	19
2.7.1	Infiltración.	19
2.8	Diseño agronómico.	21
2.8.1	Necesidades netas de riego.	21
2.8.1.1	Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o).	22
2.8.1.2	Coeficiente del cultivo (K_c).	22
2.8.1.3	Factores que afectan la ET_c	23
2.8.1.4	Precipitación efectiva P_e	23

2.8.2	Necesidades brutas de riego.....	24
2.8.3	Caudales de riego.....	24
2.8.3.1	Caudal continuo o ficticio.	24
2.8.3.2	Caudal real o instantáneo	24
2.8.4	Lámina neta o lámina de agua aprovechable (LAA).	25
2.8.5	Lámina bruta o lámina total de riego (Lr).....	25
2.8.6	Intensidad de precipitación (Ip).	25
2.8.7	Frecuencia de riego (Fr).....	26
2.8.8	Tiempo de riego (Tr).....	26
2.9	Diseño hidráulico de red de tuberías	26
2.9.1	Pérdidas de carga en tuberías.....	26
2.9.1.1	Pérdidas de carga continuas(hf).	27
2.9.1.2	Pérdidas locales o pérdidas singulares (hs).....	28
2.10	Evaluación del sistema de riego	28
2.10.1	Evaluación de la uniformidad de riego	28
2.10.2	Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento.	28
2.10.3	Eficiencia del sistema de riego	28
2.10.3.1	Eficiencia de conducción.....	29
2.10.3.2	Eficiencia de distribución.	29
2.10.3.3	Eficiencia de aplicación.....	29
2.11	Mantenimiento de los sistemas de riego.....	29
3	MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1	Ubicación del área de estudio.....	30
3.1.1	Condiciones edafoclimáticas de la parroquia Chuquiribamba.....	31
3.2	Materiales	31
3.2.1	Materiales y equipos de campo.....	31
3.2.2	Materiales y equipos de laboratorio.....	32
3.2.3	Materiales y equipos de oficina.	32
3.3	Metodología	32
3.3.1	Generalidades.....	32
3.3.2	Datos iniciales.....	33

3.3.2.1	Fuente de agua y medición de presión.	34
3.3.2.2	Determinación de la superficie de riego.....	34
3.3.2.3	Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.	35
3.3.2.4	Determinación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo.....	36
3.3.2.5	Necesidades hídricas del cultivo.	37
3.3.3	Diseño agronómico	42
3.3.3.1	Diseño agronómico de los sistemas de riego por aspersión y microaspersión....	42
3.3.3.2	Diseño agronómico sistema de riego por goteo.	49
3.3.4	Diseño hidráulico.....	57
3.3.4.1	Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión y microaspersión.....	57
3.3.4.2	Diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.	62
3.3.5	Instalación de los sistemas de riego	64
3.3.5.1	Preparación del terreno.....	64
3.3.5.2	Instalación del sistema.	64
3.3.6	Evaluación del sistema de riego.....	64
3.3.6.1	Inspección de los componentes de la instalación.....	64
3.3.6.2	Evaluación del coeficiente de uniformidad de riego (CU).....	65
3.3.7	Elaboración del manual.....	66
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
4.1	Resultados de información primaria	67
4.1.1	Descripción de la fuente abastecedora de agua.....	67
4.1.2	Caudal y presión disponible para el riego.....	67
4.1.3	Determinación de la superficie de riego.	67
4.1.4	Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.....	68
4.1.4.1	Constantes hidrofísicas.....	69
4.1.4.2	Propiedades físicas del suelo.....	69
4.1.4.3	Curva de retención de agua en el suelo.	70
4.1.4.4	Determinación de la velocidad de infiltración del suelo.	71
4.1.5	Necesidades hídricas de los cultivos.....	71
4.1.5.1	Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET _o).	71
4.1.5.2	Coefficiente del cultivo (k _c).	71

4.1.5.3	Evapotranspiración del cultivo (ETc).	72
4.1.5.4	Precipitación efectiva (Pe)	73
4.1.5.5	Requerimientos de riego.	73
4.1.5.6	Necesidades brutas (Nb) y Caudal ficticio continuo (qc)	74
4.2	Diseño agronómico del sistema de riego por aspersión y microaspersión.	74
4.2.1	Lámina de agua aprovechable (LAA).	74
4.2.2	Frecuencia de riego Fr.	75
4.2.3	Lámina de agua aprovechable ajustada (LAA 4 _{días})	75
4.2.4	Necesidades brutas ajustadas (Nb _j).	76
4.2.5	Selección del aspersor y microaspersor.	76
4.2.5.1	Distribución de agua sobre el suelo.	77
4.2.5.2	Intensidad de precipitación (Ip).	77
4.2.6	Tiempo de riego.	78
4.2.7	Número de aspersores y microaspersores por lateral (NAL).	78
4.2.8	Longitud del lateral.	79
4.2.9	Caudal del lateral (QL).	79
4.2.10	Número de laterales en la tubería secundaria.	80
4.2.11	Caudal de la tubería secundaria (Qs).	80
4.3	Diseño agronómico del sistema de riego por goteo.	80
4.3.1	Necesidades de agua del cultivo.	81
4.3.2	Parámetros de riego.	83
4.3.2.1	Área mojada por emisor.	84
4.3.2.2	Separación de emisores.	84
4.3.2.3	Número de emisores por planta.	85
4.3.2.4	Porcentaje de superficie mojada.	85
4.3.3	Lámina edáfica.	85
4.3.4	Volumen de agua por emisor.	85
4.3.5	Tiempo de riego.	86
4.4	Diseño hidráulico del sistema de riego por microaspersión.	86
4.4.1	Pérdidas de carga en la tubería lateral (hf).	86
4.4.1.1	Velocidad permisible en la tubería lateral.	86

4.4.2	Presión en la tubería lateral.....	86
4.4.3	Tubería secundaria del microaspersor.....	87
4.5	Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión.....	87
4.5.1	Pérdidas de carga tubería lateral (hf).....	87
4.5.2	Presión en la tubería lateral aspersión (descendente).....	88
4.5.3	Tubería secundaria del aspersor.....	88
4.6	Diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.....	88
4.6.1	Dimensionado de la tubería lateral goteo.....	88
4.6.2	Dimensionado de la tubería secundaria.....	89
4.7	Instalación y descripción de los componentes del sistema de riego.....	91
4.7.1	Preparación del terreno.....	91
4.7.2	Instalación del cabezal de riego.....	92
4.7.3	Tubería principal.....	93
4.7.4	Instalación sistema de riego por aspersión, microaspersión y goteo.....	93
4.8	Evaluación de la Uniformidad de riego.....	95
4.8.1	Determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU) en el sistema de riego por goteo.....	95
4.8.2	Determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU) en el sistema de riego por microaspersión.....	95
4.9	Manual de manejo y operación de los sistemas de riego.....	97
4.9.1	Objetivo y alcance.....	98
4.9.1.1	Objetivo.....	98
4.9.1.2	Alcance.....	98
4.9.2	Consideraciones generales.....	98
4.9.3	Componentes del sistema de riego.....	99
4.9.3.1	Cabezal de riego.....	99
4.9.4	Red de distribución.....	101
4.9.4.1	Tubería principal.....	101
4.9.4.2	Laterales de riego.....	101
4.9.4.3	Emisores.....	102
4.9.5	Operación del sistema de riego.....	102

4.9.5.1	Turnos de riego.....	102
4.9.5.2	Secuencia de operación.	104
4.9.5.3	Aplicación del riego	105
4.9.6	Mantenimiento del sistema de riego	106
4.9.6.1	Tanque de almacenamiento de agua.....	106
4.9.6.2	Filtros.	106
4.9.6.3	Manómetros.....	107
4.9.6.4	Inyector Venturi.	107
4.9.6.5	Laterales de riego.	107
4.9.6.6	Emisores.....	108
4.9.7	Trabajos a realizar con frecuencia en el terreno.	108
4.9.8	Control de malezas.....	108
4.9.9	Control de plagas.	109
4.9.10	Recomendaciones generales.	109
5	CONCLUSIONES.....	110
6	RECOMENDACIONES	112
7	BIBLIOGRAFÍA.....	113
8	ANEXOS.....	119

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 Resumen de las técnicas de riego para los sistemas agrícolas.	4
Figura 2. Ventajas del uso de riego localizado.	7
Figura 3 Desventajas del uso de riego localizado.	8
Figura 4. Inyector Venturi y depósito de fertilizantes en el cabezal de riego.	9
Figura 5. Diagrama textural.	12
Figura 6. Suelo ideal, porcentajes de relación suelo, agua, aire.	15
Figura 7. Ubicación del predio "La Dolorosa"	30
Figura 8. Características edafoclimáticas de la parroquia Chuquiribamba	31
Figura 9. Esquema de la Información inicial conseguida en campo y laboratorio.	33
Figura 10. Esquema del diseño agronómico para el sistema de riego por aspersión y microaspersión.	43
Figura 11. Esquema del procedimiento para el diseño agronómico del sistema de riego por goteo.	49
Figura 12. Coeficiente de advección de acuerdo al área del terreno.	51
Figura 13. Procedimiento de cálculo del diseño hidráulico.	63
Figura 14. Zonas de evaluación del coeficiente de uniformidad en el sistema de riego por microaspersión.	65
Figura 15. <i>Distribución de las áreas de riego.</i>	68
Figura 16. Relación de la clase textural y la proporción de la fracción de suelo.	70
Figura 17. Curva de retención de agua en el suelo calculada para el predio "La Dolorosa".	70
Figura 18. Señalización de la ubicación de la tubería en campo.	91
Figura 19. Preparación del terreno para la instalación del sistema de riego por microaspersión	91
Figura 20. Excavación de zanjas y preparación del terreno.	92
Figura 21. Cabezal de riego: sistema de filtrado y fertirrigación.	92
Figura 22. Instalación de la tubería principal.	93
Figura 23. Sistema de riego por aspersión.	94
Figura 24. Sistema de riego por microaspersión.	94
Figura 25. Sistema de riego por goteo.	94
Figura 26. Esquema y fotografía del cabezal de riego instalado.	101
Figura 27. Tanque reservorio que abastece de agua al predio "La Dolorosa".	104

Figura 28. Limpieza de cartucho de anillas del filtro.	107
Figura 29. Curva del coeficiente (kc) del cultivo de manzana.	121
Figura 30. Curva del coeficiente (kc) del cultivo de tomate de árbol.....	122
Figura 31. Curva del coeficiente (kc) del cultivo de pasto.	122

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia de aplicación para riegos presurizados.	25
Tabla 2. Valores de pF, con su equivalencia en atmósferas y sus clases de agua.	35
Tabla 3. Estaciones meteorológicas utilizadas para determinar la Eto.	38
Tabla 4. Estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de la precipitación efectiva.	40
Tabla 5. Determinación de las constantes hidrofísicas y físicas de los suelos.....	69
Tabla 6. Valores de Eto en mm/día calculados a partir del método del gradiente altitudinal.....	71
Tabla 7. Valores de kc de los cultivos (manzana, pasto, tomate de árbol).	72
Tabla 8. Evapotranspiración de los cultivos calculado para el predio "La Dolorosa".	72
Tabla 9. Precipitación efectiva determinada por el método de U.S National Weather Service de la USDA.....	73
Tabla 10. Requerimientos hídricos de los cultivos en (mm/día).....	73
Tabla 11. Clasificación de la calidad del riego en función del coeficiente de uniformidad.	96
Tabla 12. Meses en los que se riega.....	103
Tabla 13. Distribución del riego semanal.	103
Tabla 14. Distribución de riegos por mes.	103
Tabla 15. Datos de las pruebas de infiltración.	120
Tabla 16. Valores del (<i>kc</i>) y etapas de desarrollo del cultivo de manzana.	121
Tabla 17. Valores de (<i>kc</i>) y etapas de desarrollo del cultivo de tomate de árbol.	121
Tabla 18. Valores de (<i>kc</i>) y etapas de desarrollo del cultivo de pasto.....	122
Tabla 19. Precipitación efectiva (<i>Pe</i>).....	123
Tabla 20. Requerimientos de riego del cultivo de manzana.	124
Tabla 21. Requerimientos de riego del cultivo de tomate de árbol.....	124
Tabla 22. Requerimientos de riego del cultivo de pasto.	124
Tabla 23. Datos generales empleados para el diseño del sistema de riego por microaspersión (cultivo de manzana).....	125
Tabla 24. Datos generales empleados para el diseño del sistema de riego por aspersión (cultivo de pasto).....	125
Tabla 25. Valores promedio de velocidad del viento (m/s) para la parroquia Chuquiribamba.	126
Tabla 26. Valores de caudales por lateral, y su distribución en el sistema de riego por microaspersión.	126

Tabla 27. Valores de caudales por lateral en el sistema de riego por aspersión.	126
Tabla 28. Datos generales empleados en el diseño del sistema de riego por goteo.	127
Tabla 29. Características de fábrica del gotero seleccionado.	134
Tabla 30. Valores calculados de la tubería lateral del sistema de riego por goteo para determinar las pérdidas.....	134
Tabla 31. Resultados de la tubería lateral del sistema de riego por goteo.	134
Tabla 32. Valores iniciales para el diseño de la tubería secundaria del sistema de riego por goteo.	135
Tabla 33. Resultados de la tubería secundaria.	135

**DISEÑO, INSTALACIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SISTEMA
DE RIEGO POR GOTEO Y MICROASPERSIÓN EN EL
PREDIO “LA DOLOROSA” DE LA PARROQUIA
CHUQUIRIBAMBA, CANTÓN Y PROVINCIA DE LOJA.**

RESUMEN

El presente trabajo: “Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión en el predio “La Dolorosa” de la parroquia Chuquiribamba, cantón y provincia de Loja, tiene como objetivo principal contribuir al manejo eficiente del suelo y agua para riego, a través del diseño, la instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión.

Inicialmente se tenía previsto la implementación de dos métodos de riego (goteo y microaspersión); no obstante, los requerimientos del agricultor propiciaron la implementación de un sistema adicional de riego por aspersión, los 3 subsistemas fueron diseñados para regar un total de 3900 m², superficie que está destinada a la siembra de 3 cultivos (manzana, tomate de árbol y pasto). El presente estudio contempla dos fases de diseño: por un lado, el diseño agronómico basado en factores edafológicos, datos de campo, de infiltración y evapotranspiración; y por otro lado, el diseño hidráulico cuya serie de cálculos permitió el dimensionamiento de tuberías y de la red de flujo con todos los accesorios que lo conforman, para esta serie de cálculos se dispuso de: i) Información climática proporcionada por las estaciones meteorológicas del INAMHI, ii) Datos de laboratorio de: agua y suelo, proporcionados por el Honorable Consejo Provincial y el Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja, iii) Catálogos de materiales y equipos de riego y iv) Otros datos recogidos en campo como: caudal, topografía, presión de altura de agua del predio.

Con el diseño agronómico se determinó el método de riego para cada cultivo siendo goteo para tomate de árbol, microaspersión para manzana y aspersión para forraje, con un tiempo de riego de 1, 2 y 4 horas respectivamente, y una frecuencia de 4 días, esta frecuencia predeterminada por los turnos establecidos en la Junta de Regantes del sector “La Dolorosa”. Para la instalación del sistema de riego fue necesario realizar labores de adecuación del terreno entre las que se incluyen: la construcción de camas en curvas de nivel, limpieza, desbroce y excavación de zanjas, las conexiones de tuberías y accesorios se realizaron con mano de obra calificada para posteriormente realizar una evaluación del sistema ya instalado, esta evaluación inició con una inspección visual que se realizó desde el reservorio hasta cada uno de los emisores que conforman el sistema, habiendo comprobado que no existan fugas, daños o deterioro de los elementos del sistema, se aplicó la metodología del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen obteniendo un valor sobre el 90% tanto para el método de goteo como para el método de microaspersión, este

indicador confirmó que el diseño es adecuado y que el sistema funciona normalmente; en tanto, que para la aspersión se midieron las presiones en cada conexión del emisor notándose que no existió mayor variación respecto uno de otro. Junto al diseño se elaboró un manual de uso y mantenimiento con la finalidad de garantizar la eficiencia en el riego y conservar en las mejores condiciones de funcionamiento todos los componentes que conforman el sistema de riego.

Palabras claves: Diseño, instalación, evaluación, manual, riego.

ABSTRACT

This present work: "Design, installation and evaluation of a drip and micro sprinkler irrigation system on the "La Dolorosa" sector, in the Chuquiribamba parish, Loja's canton and province, it has the main objective contributing to the efficient management of soil and water for irrigation, through the design, installation and field evaluation of a drip and micro sprinkler irrigation systems.

The implementation of two irrigation methods were planned (drip and micro sprinkling) initially; however, the farmer's requirements led to the implementation sprinkler irrigation system additional, the 3 subsystems were designed to 3,900 m² irrigate, this area is intended for 3 crops (apple, tree tomato and grass). This study contemplates two design phases: the agronomic design, based on soil's factors, field's data, infiltration and evapotranspiration; and, on the other hand, the hydraulic design whose series of calculations allowed the dimensioning of pipes and the flow network with all the accessories that make it up, for this series of calculations the following information was available: i) INAMHI's Climate information by stations meteorological, ii) Laboratory's data on: water and soil, provided by the "Honorable Consejo Provincial de Loja" and the UNL's Laboratory of soils, ii) irrigation materials and equipment's catalogs, and iv) Other data collected in the field such as: flow, topography, water pressure column.

With the agronomic design, the irrigation method for each crop was determined, drip for tree tomato, micro sprinkling for apple and sprinkling for forage, with irrigation time of 1, 2 and 4 hours respectively, and a frequency of 4 days. This frequency was predetermined by the watering shifts set by "Junta de Riego del sector - La Dolorosa". For the installation of the irrigation system, it was necessary to carry out land adaptation works, including: the construction of beds in level curve, weed cleaning, clearing and excavation of ditches, the connections of pipes and accessories were made with labor qualified to subsequently carry out an field evaluation of the already installed system, this evaluation began with a visual inspection that was carried out from the reservoir to each of the emitters that make up the system, having verified that there ween't leaks, damages or deterioration of the elements the system, the Christiansen Uniformity Coefficient methodology was applied, resulting a value of over 90% for both the drip and the micro-spray methods. This indicator confirmed designs adequate and that the system works normally; for sprinkling method, the pressures at each connection of the emitter were measured, noting that there was no greater

variation with respect to each other. Along with the design, a use and maintenance manual was prepared in order to guarantee irrigation efficiency and keep all the components irrigation system's in the best working conditions.

Key words: Design, installation, evaluation, manual, irrigation.

1 INTRODUCCIÓN

Uno de los principales campos de trabajo de la Ingeniería Agrícola es la tecnificación del riego en todas sus etapas: diseño, instalación, evaluación, investigación en técnicas de automatización, entre otras; estas actividades, contribuyen al desarrollo productivo de los sectores agropecuarios. En este sentido es importante mencionar que gran cantidad de agua es consumida en la agricultura, de acuerdo al artículo publicado por el BANCO MUNDIAL BIRF-AIF (2017) más del 70% del agua dulce se utiliza para la agricultura. Para el 2050, alimentar a una población mundial de 9000 millones de personas requerirá un aumento estimado del 50 por ciento en la producción agrícola y un aumento del 15% en las extracciones de agua.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO en su web AQUASTAT, menciona que Ecuador tiene una superficie cultivable de 10,5 millones de hectáreas-ha, con 2,53 millones de ha cultivadas en el 2012, de las cuales 1,15 millones son de cultivos anuales y 1,38 millones de ha se utiliza para cultivos permanentes. Ecuador cuenta con el Plan Nacional del Riego y Drenaje-PNRD (2011-2026), instrumento que pretende mejorar la productividad de la agricultura familiar y de las pequeñas unidades productivas del país; mencionando que tiene un potencial enorme en cuanto al riego, siendo tan solo 942.000 ha la superficie bajo riego, es decir menos de la tercera parte que podría ser regada (3,1 millones de ha). Teniendo en cuenta que una de las principales limitantes para regar mayor superficie es la escasez del recurso hídrico (Ministerio de Agricultura y Ganadería MAG, 2011).

La selección de un sistema de riego tecnificado, contribuye a un racional y una adecuada distribución y aplicación del agua, a mejorar el desarrollo productivo, a la seguridad alimentaria aumentando su eficiencia y contribuye a subsanar las necesidades hídricas de la planta. Es por ello, que Hargreaves y Merkle, 2000 citado por Franco, 2018 considera al riego como: El componente principal de la producción agrícola debido a que influye directamente en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Existen diferentes métodos para irrigar que permiten incrementar la producción de los cultivos, entre otros se mencionan el riego superficial, sub-superficial, aspersión, microaspersión y goteo.

Por otra parte, una vez instalados los sistemas de riego es importante determinar la uniformidad de aplicación del agua, parámetro principal que contribuye a la evaluación de sistemas

de riego que se refleja directamente en el manejo y desempeño del cultivo, en la calidad y cantidad de los productos, eficiencia del uso y costo del agua para riego y por tanto de la producción (Cisnero, Venero, Placeres y González, 2019). La evaluación de uniformidad toma especial importancia, debido a que una distribución no uniforme no solo podría dejar una cosecha con una situación deficitaria de agua, sino que también este déficit contribuye a disminuir la eficiencia en la aplicación de fertilizantes en áreas en las que se aplique fertirriego, daños en las plantas por salinización del suelo y lixiviación de fertilizantes en las aguas subterráneas, con la consecuente afectación al rendimiento de la producción del cultivo (Laserna, Montero, Sheikhesmaeili y Alcázar, 2016)

En la parroquia Chuquiribamba los cultivos de hortalizas, legumbres, plantas aromáticas, frutales y pastizales son los principales productos agrícolas, por lo que es necesario tomar medidas que permitan mejorar el rendimiento en su producción. Al ser estos cultivos los que constituyen el producto primordial, para la economía del sector surge la necesidad del productor y su interés para mejorar su desarrollo mediante la implementación de sistemas de riego tecnificado. En este contexto el sector La Dolorosa perteneciente a la parroquia Chuquiribamba, cuenta con un área que necesita mejorar su potencialidad productiva, existe la posibilidad de disponer de un caudal para regadío, pero no se cuenta con un diseño adecuado para esta finalidad. Se ha realizado la propuesta de diseñar, implementar y evaluar el sistema de riego por goteo, aspersión y microaspersión, en un área de 3900 m² y para dar cumplimiento a ello se han planteado los siguientes objetivos.

Objetivo general

Contribuir al manejo eficiente del suelo y agua de riego en el sector La Dolorosa, de la Parroquia Chuquiribamba, Cantón y Provincia de Loja.

Objetivos específicos:

- Diseñar un sistema de riego por goteo y microaspersión en el sector La Dolorosa.
- Instalar y evaluar el funcionamiento y la uniformidad de aplicación del sistema de riego por goteo y microaspersión.
- Elaborar una propuesta de manejo, operación y mantenimiento de los sistemas de riego propuestos.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Riego e ingeniería de riego

Si se da un vistazo a las provincias serranas se encuentra que hay climas, suelos, cultivos y costumbres diferentes, pero en todos ellos las plantas cultivadas tienen en común la necesidad de agua para desarrollarse, esta necesidad se puede cubrir de dos maneras, por la precipitación y por el riego; si la primera no puede ser controlada por el hombre ni en intensidad, ni en duración, ni en frecuencia, nos queda acudir al riego, entendiéndose como tal a la aplicación artificial al suelo de la cantidad de agua requerida por el cultivo, en el momento oportuno y de una manera uniforme y eficiente (Cadena, 2017); así, el objetivo principal del riego es proporcionar a las plantas la suficiente agua para evitar que el estrés o déficit hídrico pueda reducir el rendimiento. La frecuencia y la cantidad de agua depende de las condiciones climáticas locales, el cultivo y la etapa de crecimiento, y las características de la humedad del suelo y la planta. (Goyal, 2014)

Por su parte la ingeniería de riego es el análisis y diseño de sistemas que suministran de manera óptima la cantidad correcta de agua al suelo en el momento adecuado para satisfacer las necesidades del cultivo. El diseño y la selección del sistema implica tres pasos. El primer paso es caracterizar los requerimientos de agua del cultivo, la hidrología y las características del suelo. El segundo paso es el diseño hidráulico de posibles alternativas. El tercer paso es un análisis económico y ambiental. (Waller y Yitayew, 2015).

2.1.1 Métodos de riego.

Históricamente, existen cuatro sistemas básicos de riego para la aplicación de agua: (1) superficie / gravedad, (2) subsuperficial, (3) aspersión y (4) micro aspersión. Los métodos de riego por aspersión, microaspersión y goteo en general se clasifican generalmente como "sistemas presurizados". (Goyal, 2014).

A continuación, en la figura 1, se presenta un resumen de los sistemas de riego por gravedad y a presión:

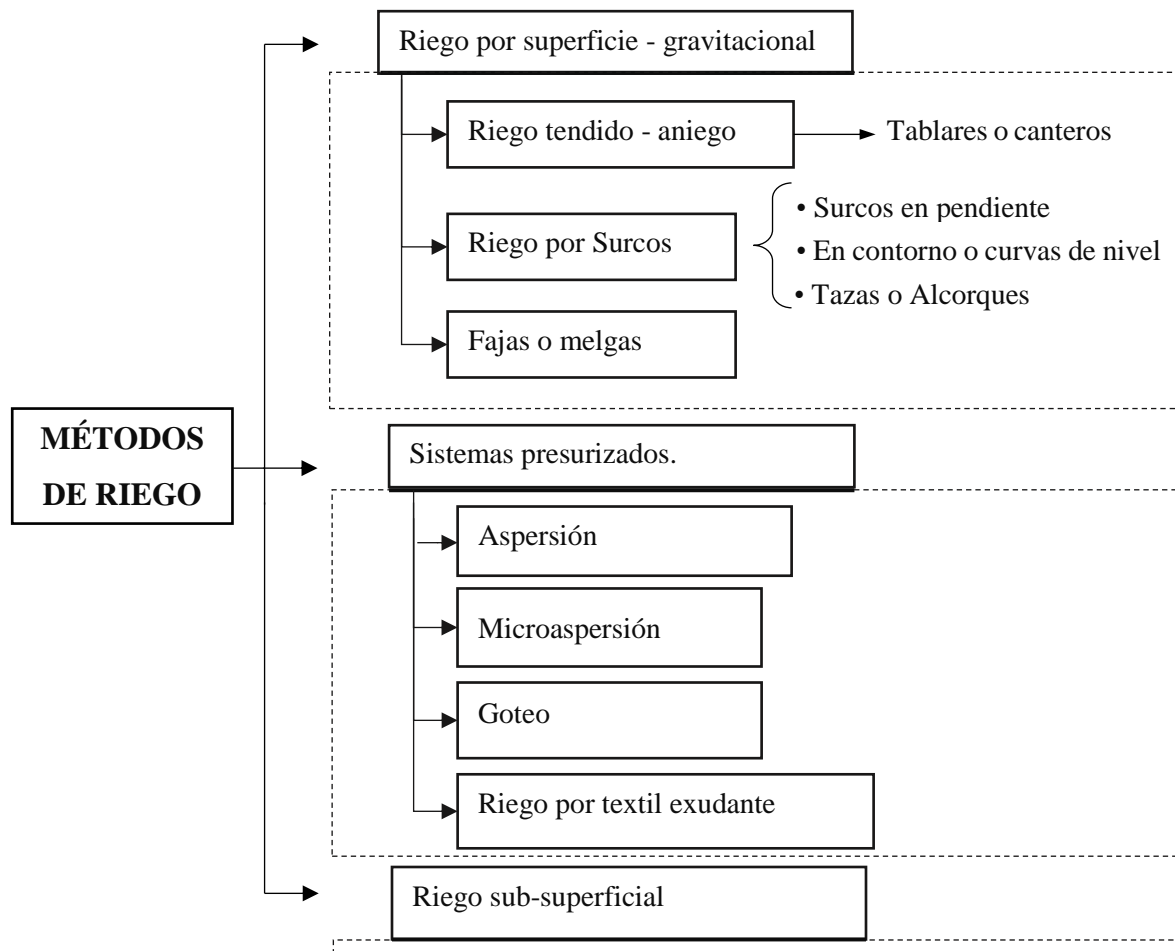


Figura 1. Resumen de las técnicas de riego para los sistemas agrícolas.

Fuente: Adaptado de Demin (2014).

Goyal (2014), establece que durante las últimas décadas los sistemas de riego por aspersión y micro riego han hecho un gran avance en muchos países alrededor del mundo, debido a su capacidad para aplicar agua de manera eficiente, bajo requerimiento de mano de obra y aumento en la cantidad y calidad de los cultivos. Los usos del riego por aspersión para cultivos de campo comenzaron en la década de 1950 y hoy existen variedades de sistemas de rociadores que van desde el simple movimiento manual hasta grandes sistemas autopropulsados; el riego por goteo se usó por primera vez en los años 40 pero su adopción a gran escala comenzó en la década de 1970. De acuerdo a todo lo mencionado con anterioridad y la importancia de ello, en el presente trabajo se toma como objeto de estudio los siguientes sistemas de riego:

2.1.1.1 Riego por aspersión.

Es un método de riego tecnificado que permite la aplicación del agua en forma de lluvia sobre la planta, el agua es transportada por tuberías a presión y al llegar al aspersor el chorro se rompe en muchas gotas que posteriormente caen al suelo. Uno de los principales factores que contribuyen a la eficiencia del rocío de las gotas de agua en el suelo, es que los vientos no sean muy fuertes si esto sucede, al contrario, se producen pérdidas de agua. Es muy importante tener en cuenta que la intensidad de precipitación producida por la lluvia artificial de los aspersores debe ser igual o menor que la de infiltración del suelo para evitar escurrimiento (Demin, 2014)

2.1.1.2 Riego por microaspersión.

Demin, (2014) menciona que la microaspersión es la aplicación de agua al suelo en gotas pequeñas, con presiones y diámetros húmedos más bajos que la de los aspersores Se recomienda su aplicación para el riego en cultivos frutales hortalizas y riego en viveros. Además, Roty, Polisgowdar y Kashyap (2018) consideran que el microaspersor contribuye a conservar el agua y aumenta su eficiencia, ya que reduce la evaporación y mantiene las condiciones de humedad del suelo, para el favorable crecimiento de los cultivos y aumento de productividad de la tierra.

2.1.1.3 Riego por goteo.

Berber y Hafez (2015) afirman que el riego por goteo entrega el agua al suelo a través de dispositivos mecánicos denominados emisores, que se los ubica en puntos a lo largo de las líneas (tuberías) de abastecimiento de agua, el mecanismo de los emisores consiste en esparcir la presión del sistema por medio de vórtices de orificios y tortuosos, permitiendo la descarga de un volumen limitado de agua, los emisores comúnmente son colocados en el suelo (riego superficial) o debajo del suelo a poca profundidad (riego subsuperficial).

Bhuiyan y Keshtgar (2015) mencionan que el sistema de riego por goteo consiste en una extensa red de tuberías, de diámetros pequeños, que suministran el agua directamente al suelo cerca de la planta su objetivo es proporcionar humedad continua al suelo, que sea la cantidad suficiente para satisfacer las demandas de transpiración de la planta, también consta con un filtro para obstruir el paso de materiales suspendidos, materia orgánica, arcilla y arena, para reducir bloqueo de los emisores.

2.1.1.4 Consideraciones generales del riego por aspersión, microaspersión y riego por goteo: Ventajas y desventajas.

Tal como cita Chu, Kang, y Wan (2014) los métodos de riego eficientes, como el riego por goteo, y el riego por microaspersión, permiten la cuantificación y el posicionamiento preciso del agua y los productos químicos dentro del perfil del suelo. Estos métodos se consideran ventajosos además por su capacidad de desplazar la sal en condiciones de flujo insaturado. El riego por aspersión, que tiene cierta similitud con la lluvia natural, se ha utilizado para mejorar los suelos salinos en condiciones continuamente insaturada. No obstante, la energía cinética de las gotas de rociadores puede afectar la superficie del suelo, destruir los agregados del suelo, disminuir la tasa de infiltración y promover la lixiviación. Estos efectos se ven exacerbados con tiempos de riego largos y tasas de riego más altas.

El riego por microaspersor ha demostrado ser beneficioso para los cultivos de árboles y viñas, ya que puede promover el crecimiento, mejorar el rendimiento, disminuir el consumo de agua y disminuir el uso de energía en comparación con los sistemas de riego por aspersión o inundación, y protege las plantas de las condiciones climáticas adversas (contra la nieve, por ejemplo) mucho más que el riego por goteo.

También es importante destacar que Steele (2015) menciona que el riego por goteo es una de las principales tecnologías de los últimos tiempos para promover la eficiencia en el uso del agua y nutrientes encontrados en el suelo hacia el cultivo. Permite aplicar pequeñas cantidades de agua directamente a la raíz, mediante la fertirrigación mejora el manejo de nutrientes, existe un efectivo control de malezas y plagas, considera menores costos de inversión a largo plazo y costos de operación. Un sistema de riego localizado bien diseñado puede aumentar el rendimiento del cultivo debido a los siguientes factores:

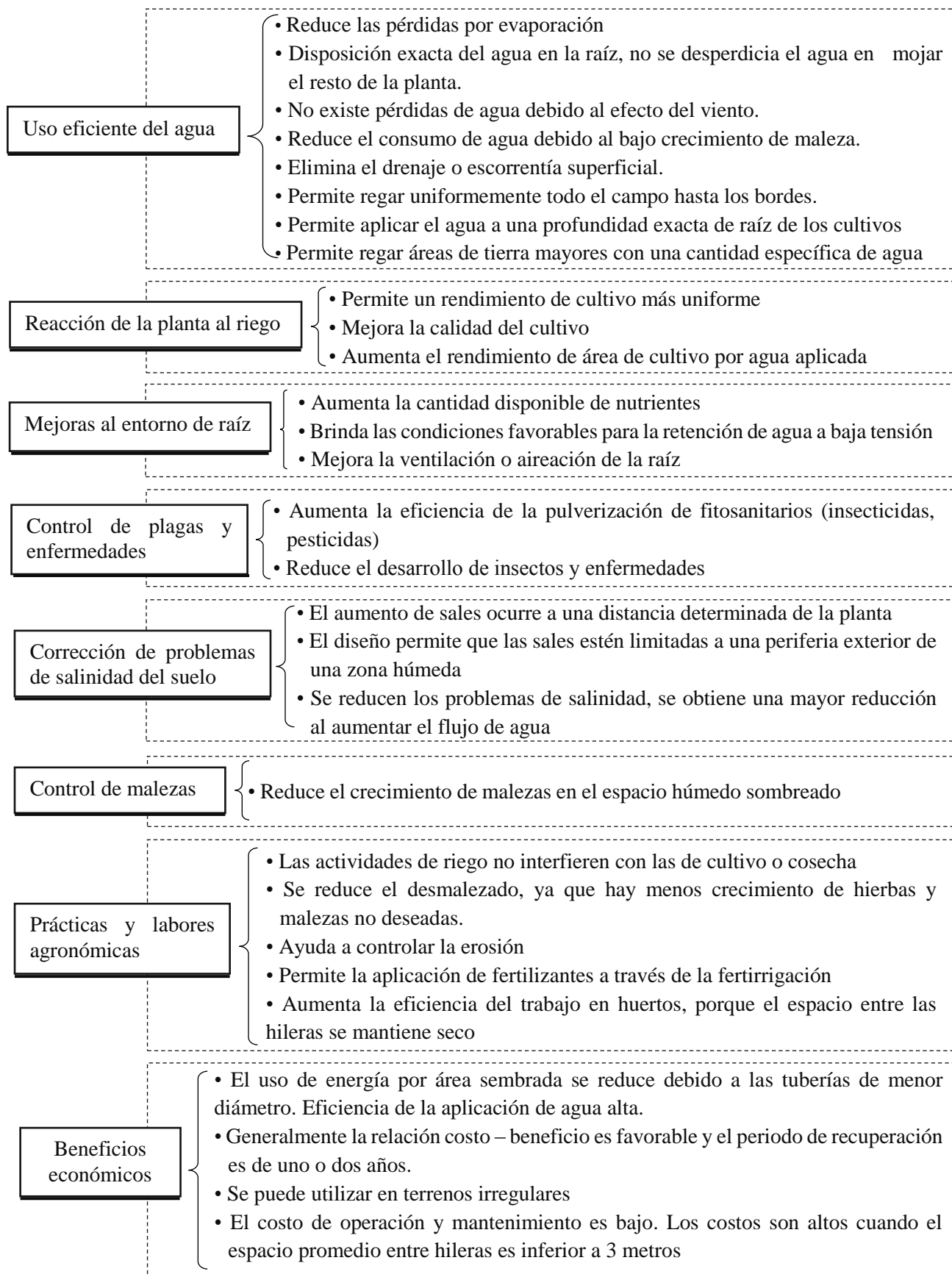


Figura 2. Ventajas del uso de riego localizado.

Fuente: Adaptado de Goyal (2014)

Entre las desventajas se encuentran las siguientes:

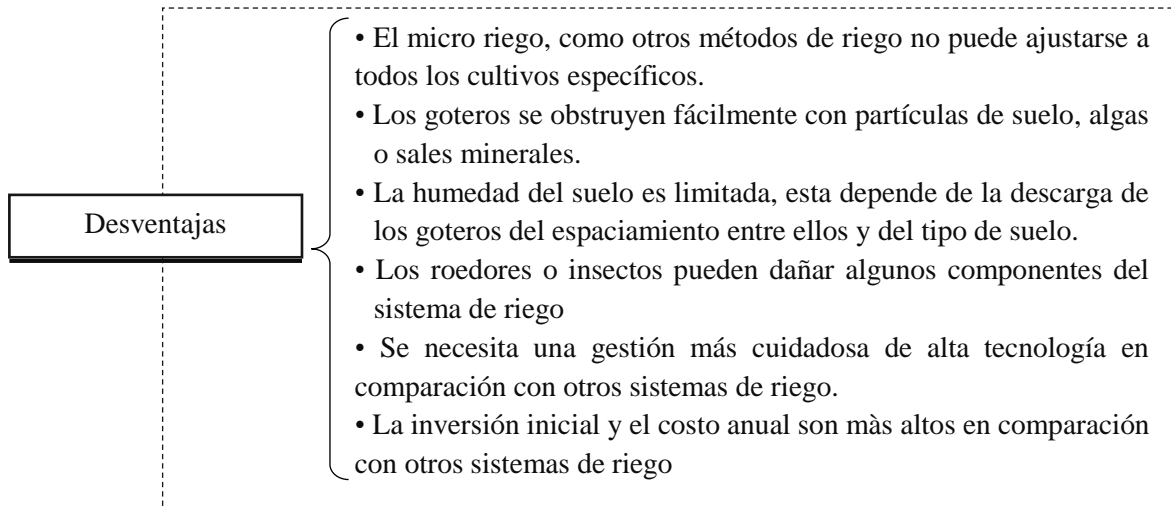


Figura 3. Desventajas del uso de riego localizado.

Fuente: Adaptado de Goyal (2014).

2.1.2 Componentes básicos de un sistema de riego.

Entre los componentes básicos se tiene:

2.1.2.1 Cabezal de riego.

Martínez (2014) señala que es una red de menor complejidad que se la coloca en la cabecera de las parcelas de riego, normalmente es el elemento central de la red, en cual van las válvulas, y los dispositivos de salida de agua y distribución, en ciertos casos también se encuentran los instrumentos de programación, dependiendo del grado de complejidad de funciones del sistema de riego, asimismo es importante mencionar, que se encuentra un mayor o menor número de dispositivos como pueden ser los elementos de filtrado o el equipo de abonado.

2.1.2.2 Equipos de prefiltrado y filtrado.

Se los coloca a continuación de la válvula de entrada cuya finalidad consiste en retener o eliminar partículas de sólidos que pueda llevar el agua y perjudique el normal funcionamiento de los equipos del sistema.

2.1.2.3 Manómetros.

Se lo coloca antes de los equipos de filtrado, con la finalidad de conocer la presión de entrada del cabezal antes de que los filtros produzcan pérdidas de carga. También se coloca otro filtro al final del cabezal el cual indicará la presión de salida, y que se habrá de considerar para el diseño del sistema.

2.1.2.4 Aplicadores de fertilizantes.

Goyal y Singh (2017) mencionan los siguientes aplicadores de fertilizantes:

- **Tanque de fertilizante:** es un tanque metálico, que se lo ubica en la cabeza del sistema de riego, permite la aplicación de fertilizantes en solución conjuntamente con el agua. Es un método simple de operación y construcción; sin embargo, no se tiene el control preciso de concentración del fertilizante.
- **Sistema Venturi:** Es un sistema con sección convergente incorporado, con garganta y sección divergente que crea un efecto de succión en la sección convergente debido a que la velocidad alta permite la entrada de fertilizante líquido al sistema, es de simple operación debido a que su concentración de fertilizante se mantiene uniforme en el agua de riego, Fig 4.
- **Bomba de fertilizante:** Consiste en una bomba que funciona a electricidad conjuntamente con agua, extrae a partir de un tanque la solución de fertilizante y la bombea con baja presión hacia el sistema de riego, la aplicación del fertilizante es más precisa sin embargo el costo de operación es más elevado.

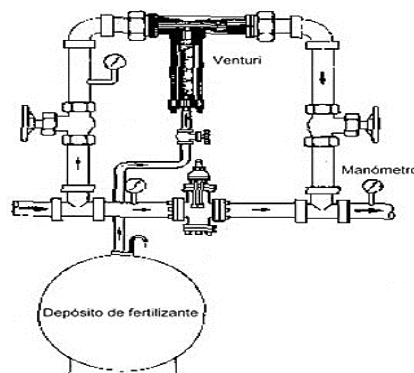


Figura 4. Inyector Venturi y depósito de fertilizantes en el cabezal de riego

Fuente: Martínez (2014).

2.1.3 Tuberías.

Waller y Yitayew (2016) señalan que las líneas principales transportan agua desde la fuente de abastecimiento a las zonas de riego que luego suministran agua a los laterales, estas líneas se encargan de llevar el agua a emisores de goteo o rociadores de aspersion o microaspersión por tuberías de múltiples salidas, para ello su diseño hidráulico contribuye a la determinación de cambio de presión y variabilidad de aplicación a lo largo de la tubería del lateral.

Kay (2017) indica que, es indispensable que las tuberías sepan llevar el flujo de diseño, pueda resistir fuerzas externas e internas, ser duraderas, y poseer una vida útil larga, por lo cual se recomienda conocer los tipos de tuberías disponibles, instalación y uso, tipos de accesorios y válvulas que necesitan. Las líneas principales como los laterales generalmente se construyen con tubería PVC, tubo polietileno PE y se consideran las pérdidas por fricción. Waller y Yitayew (2016).

2.1.3.1 Accesorios.

Las tuberías necesitan de válvulas y accesorios que garanticen que la descarga de agua este bajo control, las válvulas son las más importantes por lo cual se mencionan a continuación:

- **Válvula de compuerta:** son válvulas de cierre, que se usan para controlar la presión y descarga, necesitan atención constante, solo el 10% de la apertura de la puerta tiene el real control de influencia, mientras que el 90% restante no influye en la descarga, solo cambia la energía de presión a energía cinética, para que atravesase el flujo más rápido por la abertura estrecha.
- **Válvulas de mariposa:** su trabajo es similar que el de la de compuerta sin embargo su operación es más fácil, consiste en un disco que gira alrededor de un eje por el diámetro de la tubería, su utilización no siempre es favorecedora debido a que el disco es un obstáculo para el paso del flujo ya que este puede acumular escombros, también es importante mencionar que, si la válvula se cierra con bastante rapidez, puede producir golpe de ariete.
- **Válvulas de aire:** Permiten liberar aire que se puede acumular en puntos altos, por lo cual es una buena práctica incluir estas válvulas en dichos sitios.
- **Válvula de retención o válvula de reflujo:** es un accesorio ideal para tuberías con suministro de bomba evita daños a causa de golpe de ariete, y para tuberías de suministro

de agua para evitar la succión de agua contaminada cuando se cierra la tubería, su principal función es permitir que el agua fluya de una sola manera y evitar el retorno del flujo una vez que se detiene el flujo principal.

- **Válvulas de control:** como su nombre mismo lo dicen son válvulas de control disponibles para controlar problemas de descarga y presión, reducción y mantenimiento de presión, control de sobretensión.

2.2 Relación suelo-agua-planta

El suelo es un depósito de almacenamiento de agua, aire y nutrientes los cuales son tomados por las plantas, su capacidad de almacenamiento y disponibilidad dependen de las cantidades y características de cada suelo, por lo cual es indispensable conocer la constitución las fuerzas de retención y el movimiento del agua en el suelo (Angella y Salgado, 2016).

Waller, et al., (2015). Indica que al estado del agua en el suelo lo describen dos parámetros importantes que son el contenido de agua y el potencial hídrico total, siendo el contenido de agua la fracción de suelo ocupada por agua la cual puede medirse por masa o volumen y el potencial hídrico total refiriéndose a la energía del agua en el suelo.

2.2.1 Propiedades físicas del suelo.

El suelo es un subsistema del ecosistema con características físicas, químicas y biológicas que determinan las propiedades y los cambios ocasionados por la influencia de uso del suelo (utilización de fertilizantes, semillas seleccionadas, maquinaria, etc.). Siendo su uso intensivo el que provoca cambios en sus propiedades afectando la capacidad productiva del mismo. Las principales características que intervienen en la estructura del suelo son la profundidad de espacio enraizable, régimen de humedad y capacidad de aireación (Murray, Orozco y González. 2014).

Lambert, et al. (2016) también menciona que muchas de las propiedades físicas del suelo se encuentran influenciadas por la distribución del tamaño de partículas, un ejemplo de ello es la capacidad de retención del agua.

Las propiedades físicas tales como textura, porosidad, densidad aparente, consistencia del suelo entre otras, se encuentran relacionadas con la productividad, debido a que modifican la

capacidad de retención y almacenamiento del agua en el suelo y su movimiento (Silva, Silva, Garrido y Acevedo, 2015).

2.2.1.1 Textura.

Las partículas del suelo se clasifican según su diámetro en tres categorías principales: limo, arena y arcilla. El diámetro de las partículas de arena gruesa se asemeja al tamaño de una mina de lápiz mientras que diámetros de partículas de arcilla es tres veces menor su magnitud. En base a los porcentajes de arena limo y arcilla (franco arenoso, arcilloso y limoso) y mediante el triángulo de textura de los suelos del USDA (**Figura 5**) se pueden clasificar las texturas del suelo. (Waller et al. 2016).

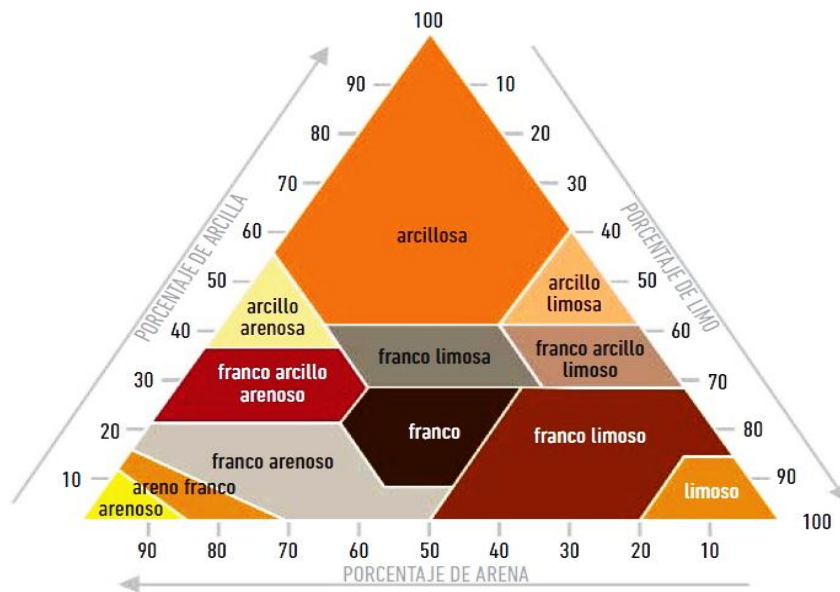


Figura 5. Diagrama textural
Fuente: Citado en Holzmann (2015).

La Corporación Nacional de Desarrollo Indígena CONADI (2017) menciona que en el riego por goteo, juegan un papel importante la textura y la profundidad del suelo al hablar de la frecuencia de riego, para entender ello menciona que en suelos arenosos la frecuencia de riego será menor, en suelos arcillosos su frecuencia será mayor debido a que el primer suelo retiene menor cantidad de agua que el segundo, siendo así la textura del suelo un factor relevante en el modelo de mejoramiento o distribución del agua en el suelo.

2.2.1.2 Estructura.

Según Waller et al. (2016) la estructura es la disposición y organización de las partículas de suelo en unidades naturales de agregación. Tiene gran influencia en las propiedades del suelo y en la tasa de infiltración, además de que influye en el movimiento del aire y agua en el suelo, desarrollo de raíces y suministro de nutrientes.

2.2.1.3 Consistencia.

La consistencia del suelo es la interacción de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión en el suelo a varios contenidos de humedad. Varía de acuerdo a la textura, estructura, materia orgánica y al porcentaje de humedad. Tiene distintas propiedades tales como: resistencia a la compresión, plasticidad, friabilidad y viscosidad.

2.2.1.4 Densidad.

Angella et al., (2016) menciona que la relación entre la masa de un cuerpo y el volumen que ocupa dicho cuerpo es considerada como la densidad, dado que el suelo es un cuerpo formado por fase sólida, líquida y gaseosa, toma dos tipos de densidades las cuales se mencionan a continuación:

2.2.1.4.1 Densidad aparente.

Beltrán (2018) considera a la densidad aparente como, el indicador de la compactación y restricción en relación al crecimiento de las raíces de las plantas en el suelo, el valor de la densidad aparente oscila entre 1.0 a 1.7 g/cm³ y va aumentando acorde a la profundidad del suelo, estos valores dependen principalmente de la textura, estructura y grado de compactación del suelo.

Assan y Gorosito (2018) mencionan que, para calcular la densidad aparente de un suelo en la práctica, se toma la muestra sin alterar conservando todas sus fases, de manera que no sea disturbada ni compacta, con la utilización de un barreno tipo sacabocado. Se toma su peso total y volumen sin disturbar.

2.2.1.4.2 Densidad real.

Para conocer la densidad real del suelo no se considera el espacio poroso, sino que se relaciona la masa total del suelo seco con el volumen de la fase sólida. Los valores de la densidad real en todos los suelos son constantes y oscilan entre 2.5 a 2.6 g/cm³. No siendo así los valores de

la densidad aparente ya que estos pueden variar debido al grado de compactación del suelo entre otros factores, es decir que cuando más compactado se encuentre el suelo, mayor será el valor de densidad y menor su espacio poroso. (Assan y Gorosito, 2018).

2.2.1.5 Porosidad.

La porosidad del suelo o el espacio poroso se lo denomina como el porcentaje de volumen total del suelo que no se encuentra ocupado por partículas sólidas; es decir, el porcentaje de volumen total del suelo ocupado por agua y aire. El tamaño de los poros individuales depende del tamaño de partículas de suelo y la disposición en la que se encuentran unidas, en suelos secos los poros se llenan principalmente de aire, en suelos húmedos los espacios porosos contienen agua y aire y si las partículas sólidas que encuentran unidas la porosidad es baja (Lambert, et al. 2016).

2.2.1.6 Profundidad.

Cadena (2017) indica que un parámetro indispensable al diseñar el riego es la profundidad o volumen de suelo, pues mientras más profundo sea el suelo la planta estará más firme, las raíces se extenderán más, el almacenamiento de agua será mayor, al momento de arar o aplanar el suelo no tendrá problemas y se podrá implementar cualquier sistema de riego.

2.3 Contenido de agua en el suelo

(McCarty, Hubbard, y Quisenberry. 2016). Se denomina suelo a la mezcla de material mineral y orgánico, comúnmente consta de minerales primarios y secundarios. La mayoría de los textos describen que un suelo idealizado es aquel que contenga aproximadamente el 50% de volumen sólido y 25% de volumen de agua y 25% de aire (**Figura 6**), estos suelos denominados ideales también contienen materia orgánica hasta un 5%. los suelos se consideran productivos aun cuando pueden ser variables en porosidad y contenido de agua y aire.

El tamaño, tipo, proporciones relativas de los componentes minerales, la cantidad y naturaleza de la fracción orgánica afecta a las propiedades físicas y químicas del suelo. Propiedades que a su vez determinan la capacidad de retención de agua en el suelo, disponibilidad de nutrientes, susceptibilidad a la compactación, capacidad de drenaje entre otras.

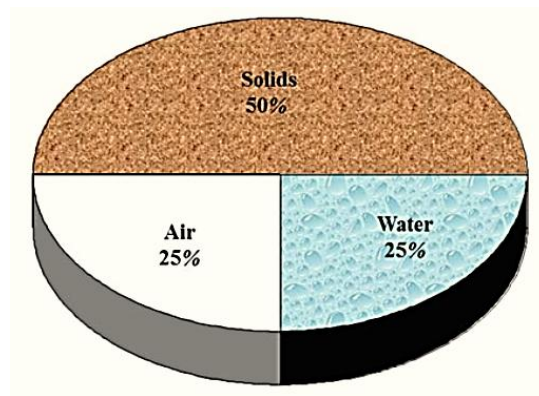


Figura 6. Suelo ideal, porcentajes de relación suelo, agua, aire.

Fuente: Tomado de Lambert et al., (2016)

2.4 Clases de agua en el suelo

Los espacios porosos forman una red de cavidades conectadas entre sí de diversas formas y tamaños, cuando se suministra agua en un suelo seco este se distribuye y se adhiere a estas cavidades por fuerzas de adhesión y cohesión, desplaza el aire de los poros y se llenan de agua produciendo la saturación del suelo o máxima capacidad de retención. (Cadena, 2017).

2.4.1 Agua higroscópica o no disponible.

Angella et al., (2016) menciona que el agua higroscópica se la denomina molecular, la cual es la fracción de agua absorbida directamente de la humedad del aire, esta porción de agua en el suelo no es utilizada por las plantas, debido a que se encuentra fijada fuertemente por las partículas de suelo, se ubica sobre las partículas del terreno en una capa de 15 a 20 moléculas de espesor y se adhiere a las partículas por adhesión superficial, el poder de succión de las raíces no tiene la fuerza suficiente para extraer esta película de agua en el terreno.

2.4.2 Agua capilar o agua disponible.

Es el desplazamiento del agua por los poros desde abajo hacia arriba por fuerzas de adhesión y cohesión, el agua es retenida en los poros vencida por la acción de la gravedad, de esta agua una parte es móvil y disponible para las plantas y otra está unida a las partículas del suelo (Cadena, 2017).

2.4.3 Agua gravitacional o agua de drenaje.

Es el agua que puede ser absorbida por la planta, aunque se encuentra por poco tiempo en el sistema, se drena libremente por la acción de la fuerza de la gravedad mientras que esta fuerza sea mayor que la fuerza de retención del suelo, se halla determinada por el diámetro ponderado de poros. (Silva et al., 2015).

2.5 Constantes hidrofísicas

Son aquellas determinadas por el contenido de agua en el suelo, caracterizan situaciones particulares, su conocimiento es de interés para los cálculos de riego (Assan y Gorosito, 2018).

2.5.1 Saturación.

Cadena (2017) indica que la saturación es el contenido de humedad cuando los poros del suelo se han llenado, sucede luego de una lluvia o riego abundante, en suelos saturados hay ausencia de aire y cualquier cantidad adicional de agua escurrirá, se encharcará o se eliminará por gravedad hacia las capas más profundas.

2.5.2 Capacidad de campo.

Assan y Gorosito (2018) señalan que es la máxima cantidad de agua que puede retener el suelo una vez que a drenado toda el agua gravitacional luego de haberse efectuado un riego o lluvia. Simplemente es el límite superior de extracción de agua por parte de la planta.

Silva et al., (2015) indica que es el contenido de agua en el suelo cuando este ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente para evitar pérdidas por evapotranspiración, corresponde al contenido de agua a una tensión o potencial matrico de -0,33 bares, sus valores normalmente se toman luego de un riego o lluvia abundante alrededor de 24 a 48 horas.

2.5.3 Punto de marchitez permanente.

Es el contenido de agua de un suelo, en el límite inferior de extracción por parte del cultivo en el cual se marchita la planta y ya no recobra turgencia, se la coloca a una atmósfera saturada durante 12 horas. Corresponde al contenido de agua a una tensión o potencial matrico de -15 bares.

Sus valores cambian dependiendo de la textura del suelo por lo tanto se lo estima a partir de la capacidad de campo (CC) (Silva et al., 2015).

2.5.4 Agua útil o disponibilidad total para la planta.

Es la diferencia entre límite máximo (capacidad de campo CC) y el límite mínimo de extracción (punto de marchitez permanente PMP) en el cual el cultivo puede extraer agua. (Assan y Gorosito, 2018).

2.5.5 Umbral de riego (UR).

De acuerdo Assan y Gorosito (2018) es el porcentaje de agua útil que marca un determinado límite de humedad del suelo para riego su valor puede variar debido a las etapas fenológicas del cultivo, a la función del poder evaporante de la atmósfera y según el tipo de suelo, su nivel de extracción de agua por parte de la planta depende del nivel de energía por la que está retenida en la matriz del mismo. El UR se expresa como un porcentaje de agua útil fácilmente aprovechable, que tendrá un valor expresado en contenido gravimétrico o volumétrico, este valor representa el momento en el cual, al llegar el suelo a humedad previamente calculada, deberá volver a regarse el cultivo debido a que marca el límite entre el agua que se extrae fácilmente y el agua remanente que debe quedar en el suelo

Según CONADI (2017) para la determinación de la humedad aprovechable (HA) o agua útil (AU), se debe fijar un Umbral de Riego (UR) que varía entre un 20% a 60%, el cual es fijado dependiendo del tipo de suelo y el tipo de riego, en un suelo arcilloso el UR será mayor que en un arenoso.

2.6 Energía de agua en el suelo

Nombrado también movimiento de agua en el suelo, representa las energías potencial y cinética. La energía cinética es la velocidad con la que se desplaza el agua entre dos puntos ubicados dentro del perfil del suelo, este desplazamiento en el suelo es muy lento por lo tanto el valor de la energía cinética es pequeño y no se lo considera para análisis de flujo. Siendo la energía potencial la que determina el estado energético y el movimiento del agua en el suelo, su diferencia entre un punto y otro determinan los valores de flujo de agua en el suelo. (Valarezo et al., 1998) citado por (Valverde et al., 2014).

Lambert et al., (2016) en el libro *Applied Soil Physical Properties, Drainage, and Irrigation Strategies* menciona que como en todo sistema natural, el movimiento de un material como el agua, depende de gradientes de energía que contribuyen a la predicción de su movimiento en el suelo, considerado así potencial energético del agua.

Las fuerzas que actúan sobre el agua son mencionadas a continuación:

2.6.1 Potencial total (ϕ_t)

Denominado también potencial hídrico total del suelo que es la cantidad total de trabajo por unidad de masa de agua. Su estimación describe el flujo de agua o cuanto trabajo debe realizar una planta para extraer agua del suelo desde un punto de alto potencial (energía) hasta un punto de potencial total más bajo, las fuerzas más importantes que actúan sobre el agua en el suelo son las gravitacionales, matriciales y osmóticas. (Lambert et al., 2016).

Por lo tanto, al potencial hídrico total se lo obtiene de la suma de cada uno de los potenciales parciales (Kirkham, 2014).

2.6.2 Potencial mátrico (ϕ_m)

Desde el punto de vista agronómico el potencial mátrico es el más importante del potencial total, se refiere a las fuerzas de atracción del agua por la superficie de las partículas sólidas del suelo y las fuerzas de atracción molecular entre las propias moléculas de agua. La unión de estas dos fuerzas ocasiona que el agua sea retenida por adsorción (matriz del suelo) y capilaridad (mismas moléculas de agua), en suelos cuyo contenido de agua se encuentre por debajo del nivel de saturación, su valor es cero o negativo. (Angella et al., 2016).

2.6.3 Potencial gravitacional (ϕ_g).

También llamado energía gravitacional, es la energía potencial asociada con la posición vertical, traslada una cantidad de agua respecto a un nivel o altura de referencia, que varía de acuerdo a su necesidad pudiendo ser positivo o negativo dependiendo si se encuentra sobre o bajo este nivel. Por lo general es conveniente mantener el nivel de referencia lo suficientemente bajo para no alcanzar valores negativos, su nivel de referencia habitualmente depende de la dirección del movimiento del agua, aumento o infiltración, el nivel de referencia generalmente es tomado por los científicos como la superficie del suelo o nivel de agua subterránea. (Kirkham, 2014).

2.6.4 Potencial osmótico (ϕ_o).

Denominado también potencial de solutos ϕ_s , que es la porción de potencial de agua que se atribuye a la atracción de solutos para el agua, si el agua es pura y la solución está separada por una membrana, la presión se acumulará en el lado de la solución que es equivalente a la diferencia de energía en el agua en los dos lados de la membrana, esta presión denominada presión osmótica es equivalente numéricamente con signo opuesto al potencial de soluto, incluso si no hay membranas presentes se sigue llamando potencial osmótico.

El potencial osmótico generalmente se ignora al determinar el movimiento del agua en el suelo, cuando el suelo es salino este es considerado. (Kirkham, 2014).

2.6.5 Potencial de presión (ϕ_p).

Lambert et al., (2016), describe que al potencial de presión se lo compara con la presión atmosférica (en una superficie de agua libre), es la energía potencial debido al peso del agua en un punto considerado, su valor es cero o positivo. El agua en su superficie libre del agua tiene un potencial de presión cero mientras que a una presión hidrostática menor que la atmosférica (bajo succión o tensión) en los poros del suelo, produce un potencial de presión negativo o presión matricial.

2.7 Movimiento de agua en el suelo

Define el comportamiento del agua en el suelo, sus propiedades y las fuerzas que actúan sobre ella, la infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. La permeabilidad es la propiedad que el suelo tiene para transmitir el agua y el aire, al ser el suelo más permeable la infiltración será mayor. La percolación, es la porción del agua aplicada sobre la superficie del suelo, que pasa poco a poco hacia capas más profundas (Saborio, 2018).

2.7.1 Infiltración.

Gómez, Cerrón, Capcha y Villavicencio (2014) señalan que la infiltración es un importante componente del ciclo hidrológico, se define como la entrada de agua hacia abajo en la totalidad del suelo o una parte de él, normalmente es el movimiento descendente del agua, intervienen factores como: la textura, estructura, contenido de materia orgánica, contenido de humedad,

densidad aparente, porosidad entre otras, además que los diferentes factores como actividades antrópicas modifican positiva o negativamente los valores de la infiltración. Además, menciona que numerosos estudios demuestran que la infiltración es un buen indicador de calidad y salud del suelo, ya que el transporte del agua dentro del suelo constituye en la conservación de la actividad física, química y biológica de este, al mismo tiempo que recarga los acuíferos.

Delgadillo y Pérez (2016) mencionan los factores que afectan las tasas de infiltración disminuyendo su velocidad:

- **Sellamiento superficial:** Rotura de la estructura del suelo por acción corrosiva de lluvias o riego por aspersión y acción del flujo de agua sobre la superficie del suelo, forma una capa fina y compacta que reduce la penetración de agua a través de la superficie del suelo.
- **Compactación del suelo:** Ocasionado por labores de preparación de suelos especialmente realizado por araduras en suelos húmedos, impide el movimiento de agua y reduce la velocidad de infiltración.
- **Partículas o grietas del suelo:** al secarse el suelo tiende a partirse cuando son suelos de texturas finas, al aplicarse agua estas partículas aumentan de tamaño y sellan las partículas hasta disminuir la velocidad de infiltración.
- **Preparación del suelo:** La infiltración del suelo puede aumentar por aradura, rastraje u otros procedimientos, sin embargo, el beneficio en porosidad del suelo solamente dura hasta que el suelo vuelve a su densidad anterior por el resultado de riegos o lluvias seguidas, se considera también la compactación producida por el excesivo paso de implementos.
- **Materia orgánica y rotación de cultivos:** La materia orgánica mantiene la porosidad del suelo por periodos largos, su velocidad no se altera incluso puede aumentar con la siembra de pastos y legumbres.
- **Sales del suelo y agua:** En el perfil del suelo se pueden acumular sales debajo de las zonas de raíces por efectos de riego y se van acumulando cuando las precipitaciones no son suficientes.
- **Sedimentos en el agua de riego:** Las partículas de limo y arcilla que se mantienen en suspensión en el agua para riego afectan la calidad del agua y provocan encortamiento del suelo que disminuye la velocidad de infiltración, aunque puede ser beneficioso en suelos arenosos y todo lo contrario en suelos de texturas finas.

- **Perfil del suelo:** Es un factor no manejado por el hombre, sin embargo, la disposición de estratos en el perfil tiene gran incidencia en la velocidad de infiltración.

2.8 Diseño agronómico

Los factores agronómicos son considerados para el diseño del sistema de riego debido a que considera características de infiltración del suelo y las plantas a cultivar. Mullo (2016) menciona que el diseño agronómico en el riego, determina la cantidad de agua que se va a aportar en la instalación, corresponde a las necesidades brutas de riego en épocas de máxima necesidad.

De acuerdo a Arapa (2007) citado por Domínguez (2019) indica que el diseño agronómico en un sistema de riego por goteo decide una de serie de elementos en la instalación, como número y disposición de emisores entre otros aspectos, además que proporciona información básica para su posterior diseño hidráulico, como caudal del lateral, espaciamiento del emisor etc.

2.8.1 Necesidades netas de riego.

Es la demanda o cantidad de agua requerida por un cultivo o un patrón variado de cultivos en un período y condiciones de campo determinados, su estimación contribuye al desarrollo y crecimiento normal de los cultivos es decir la cantidad total de agua requerida para que el cultivo se desarrolle y madure adecuadamente, los requerimientos hídricos deben cubrir la demanda de agua necesaria, para satisfacer las pérdidas provocadas por la evapotranspiración (ETC), pérdidas en la aplicación de agua de riego y pérdidas por operaciones especiales como preparación de tierra, trasplantes, lixiviación de sales en la zona radicular, control de heladas etc. (Goyal y Aladakatti, 2018).

La evapotranspiración (ET_c) tiene dos componentes que son la evaporación directa desde el suelo y la transpiración a través de la planta, su evaporación depende principalmente de la superficie mojada y del agua absorbida por las raíces pues solo una pequeña porción pasa a formar parte de los tejidos de la planta, mientras que la transpiración se produce como consecuencia de la fotosíntesis, su mayor o menor transpiración depende de características de la planta, volumen de hojas, morfología y factores ambientales. En términos agronómicos se define a la evapotranspiración como el agua útil almacenada en la zona radicular. (Martínez 2014).

2.8.1.1 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o).

Goyal et al., (2018) señala que la ET_o se toma a partir de una superficie de referencia que no tiene restricciones de agua, su superficie es un cultivo de referencia de pasto hipotético con características específicas, en el cual los únicos factores que afectan a la ET_o son los factores climáticos. Por lo tanto, es un parámetro climático que se puede estimar a partir del cálculo de datos meteorológicos, la ET_o expresa el poder de evaporación de la atmósfera en un lugar y épocas del año específicos sin considerar los factores de suelo ni las características del cultivo. Serio, Antelo y Zalazar (2019) mencionan que la cuantificación de los valores de ET_o es indispensable para la planificación de múltiples actividades de producción agropecuaria como el manejo y optimización del agua para riego

Para la estimación de la evapotranspiración de referencia ET_o se lo realiza a partir de métodos experimentales sobre el terreno como son los lisímetros o también con distintos métodos basados en tablas a partir de datos meteorológicos mencionados a continuación: Blaney – Criddle, Penman Monthein, Hargreaves entre otros.

2.8.1.1.1 Hargreaves

Hargreaves y Samani, 1985 citado por Demin (2014) indican que el método de Hargreaves es un método bastante sencillo para determinar la evapotranspiración de referencia, utiliza parámetros de temperatura y radiación solar extraterrestre, que se estima a partir de la latitud (información que se la puede encontrar en tablas). También menciona que este método se lo puede aplicar en cualquier sitio que tenga solo datos de temperatura.

2.8.1.2 Coeficiente del cultivo(K_c).

Al coeficiente del cultivo (K_c) principalmente se lo utiliza para la planificación del riego, realización de programas básicos de riego y para la mayoría de los estudios hidrológicos de balance hídrico. Este parámetro incorpora las características del cultivo conjuntamente con los efectos de evaporación promedio del suelo, es proporcional a la demanda de agua atmosférica (carga de radiación, velocidad del viento, temperatura, contenido de vapor de agua) y las etapas de desarrollo (etapas fenológicas) del cultivo. Se consideran etapas cuyas duraciones dividiéndose en etapa inicial, de desarrollo, mitad de temporada y etapa final. (Steele, 2015).

Memon y Jamsa (2018) señalan que se consideran diferentes etapas del desarrollo del cultivo para la temporada de crecimiento del cultivo que son:

Etapas inicial: Desde la siembra hasta la germinación, alcanza un 10% de cobertura del suelo.

Etapas de desarrollo del cultivo.

Etapas de mitad de temporada: Va desde la cobertura efectiva hasta el inicio de la madurez del cultivo. En esta etapa el cultivo utiliza mayor cantidad de agua y el Kc alcanza el valor máximo.

Etapas de final de temporada: desde el inicio de la madurez, la madurez o cosecha completa.

2.8.1.3 Factores que afectan la ET_c

Cisneros, (2003) citado por Sarango (2019) menciona que los factores que afectan la evapotranspiración son:

- **Hídricos:** comprende métodos de riego, eficiencia de riego, disposición y calidad del agua para el riego.
- **Edáficos:** propiedades características del suelo físicas y químicas tales como textura, estructura, porosidad, entre otras.
- **Vegetales:** de acuerdo al tipo del cultivo, variedad, etapas fenológicas, características morfológicas de las estomas.
- **Climáticos:** Temperaturas, precipitaciones, velocidad del viento, radiación solar, humedad relativa.

2.8.1.4 Precipitación efectiva Pe .

Sarango (2019) manifiesta que es un parámetro que recurre a métodos simplificados ya que encierra dificultades específicas, entre las varias formas que existen para determinar la Precipitación efectiva menciona la elaborada por la Soil Conservation Service (USDA) para precipitaciones menores y mayores a 250 mm.

2.8.2 Necesidades brutas de riego.

Son las cantidades de agua que hay que aplicar en el riego restando las pérdidas de las necesidades netas de riego, Zotarelli, Dukes, Liu, Simonne y Agehara, (2019) indican que los requisitos de riego se determinan al dividir la cantidad de agua que necesita la planta (ETC) para la fracción decimal de la eficiencia de aplicación del sistema de riego (E_a). Por lo tanto:

2.8.3 Caudales de riego.

Moratiel (2017) define al caudal como la cantidad de agua indispensable para satisfacer y suministrar las necesidades de riego de un sector, es importante destacar que el cálculo de estos caudales se lo debe hacer con el mes de máximas demandas hídricas, pues si se calcula con el de menores necesidades la cantidad de agua será insuficiente para otras etapas de desarrollo del cultivo. Además, define dos tipos de caudales:

2.8.3.1 Caudal continuo o ficticio.

Volumen de agua que se debe aplicar sobre una hectárea de forma continua para cubrir las necesidades de agua en los cultivos teóricamente representa el volumen de agua que se tendría que aplicar durante el mes y 24 horas continuas de forma ininterrumpida.

2.8.3.2 Caudal real o instantáneo

Volumen de agua real que se aplica sobre una hectárea. Para su cálculo se emplea la siguiente ecuación:

$$q_r = \frac{10^4 N_b}{d_2 * h * 3600} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde:

q_r = Caudal real $l * s^{-1} * ha^{-1}$

N_b = Necesidades brutas del mes de máxima exigencia hídrica del cultivo (mm/mes).

d_2 = Número de días de riego al mes

h = Horas de riego al día.

2.8.4 Lámina neta o lámina de agua aprovechable (LAA).

Maldonado (2012) citado por Jimenez (2019) menciona que la lámina de agua aprovechable (LAA) es la cantidad de agua que puede almacenar el suelo a una profundidad determinada, es definida por el cultivo, y es la diferencia de los puntos de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP). También menciona a la lámina de riego rápidamente aprovechable (LARA) es la cantidad de agua que se debe aplicar en cada riego por unidad de superficie entre la capacidad de campo (CC) y el umbral de riego (UR) o factor de agotamiento.

Cadena (2017) menciona que es importante dar la cantidad de agua necesaria para elevar el contenido de humedad de la zona radicular desde un valor inferior correspondiente a la fracción de agotamiento hasta un valor superior capacidad de campo (CC), generalmente es la cantidad de agua que se aplica en cada riego por cada unidad de superficie.

2.8.5 Lámina bruta o lámina total de riego (Lr).

Es la lámina de agua total que necesita un cultivo considerando la eficiencia de aplicación que se encuentra definido por cada método de riego. (Jimenez, 2019). Ministerio de Agricultura y Riego MINAGRI (2015) presenta valores que pueden ser utilizados de referencia para las eficiencias de aplicación según su método de riego que se mencionan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Eficiencia de aplicación para riegos presurizados.

Metodo de riego	Eficiencia de aplicación (Ea) (%)
Aspersión	50 – 90
Microaspersión	60 – 95
Goteo	65 - 95

Fuente: UDEC CHILE. Adaptado por MINAGRI (2015).

2.8.6 Intensidad de precipitación (Ip).

Chow (2006) citado por Jiménez (2019) indica que es el resultado del caudal emitido por el aspersor o microaspersor y la superficie de suelo mojado del mismo.

2.8.7 Frecuencia de riego (Fr).

Cadena (2017) indica que la frecuencia de riego es el número de días que transcurren entre dos riegos sucesivos, depende de la demanda de agua de la planta (N_r) y la capacidad de retención de agua del suelo (LAA).

2.8.8 Tiempo de riego (T_r).

Tiempo necesario para que la lámina total de agua se infiltre en el terreno (Cadena, 2017). También es el tiempo en horas que debe estar funcionando la instalación para aplicar las necesidades brutas de riego. En el riego por goteo el cálculo del tiempo de riego es diferente.

2.9 Diseño hidráulico de red de tuberías

El diseño hidráulico contribuye a determinar el funcionamiento de la red de tuberías de la instalación de riego, así como sus componentes y dimensiones. Biwas (2015) indica que el diseño de las tuberías depende de factores físicos como: tamaño del área, topografía y cualquier otro obstáculo que se puede presentar en el campo, de acuerdo a ello puede existir un diseño diferente.

El uso de tuberías con diámetros más grandes reduce la pérdida de presión debido a la fricción, pero aumenta el costo por lo que se considera importante seleccionar la más económica.

2.9.1 Pérdidas de carga en tuberías.

Aunque existen pérdidas de energía en conexiones de tubería, generalmente es pequeña en comparación con las pérdidas de tubería principal, por lo cual a menudo se ignora. Asimismo, hay pérdidas similares que ocurren en tuberías curvas, válvulas, uniones, codos, reductores entre otros, pérdidas que, aunque sean pequeñas todas ellas se las junta y se las suma (Kay, 2017).

Martínez (2014) considera que el diseño de una conducción de agua a presión consiste en el cálculo del diámetro mínimo de tubería para garantizar el suministro de caudal a una determinada presión; es decir, un diámetro ideal que no produzca pérdidas de carga o presiones elevadas que no admitan el normal funcionamiento del sistema. Las tuberías producen dos tipos de pérdidas de carga: las pérdidas de carga continuas (h_f) y las pérdidas de carga localizadas (h_s) se las menciona a continuación:

2.9.1.1 Pérdidas de carga continuas(*hf*).

Son pérdidas que se producen por el rozamiento del fluido dentro de las tuberías de conducción. Que considera las pérdidas de carga lineal, tubería de salidas múltiples y la longitud del terreno.

2.9.1.1.1 Pérdida de carga lineal (*J*).

Biwas (2015) menciona que existen numerosas ecuaciones para resolver las pérdidas de carga lineal en las tuberías, siendo las más utilizadas las de Darcy-Weisbach, Hazen - William y Scobey. Sin embargo, Waller y Yitayew (2016) indican que las pérdidas por fricción en tuberías rectas se pueden calcular con cualquiera de las ecuaciones mencionadas, siendo la ecuación de Hazen - Williams la más utilizada ya que es válida dentro de los rangos normales de velocidad del flujo, temperaturas encontradas en tuberías de riego y por su simplicidad.

2.9.1.1.2 Pérdidas de carga en tubería con salidas múltiples (*F*).

Cardoso (2016) señala que coeficiente de Christiansen (1942) convierte las pérdidas de fricción en una tubería cerrada a pérdidas en tubería con salidas múltiples utilizando UN factor de conversión.

Por lo tanto, las pérdidas totales en la tubería o pérdidas por fricción en los laterales se las calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$hf = J * L * F \qquad \text{Ecuación 2.}$$

Donde:

hf = Pérdidas de carga continuas (m)

J = Pérdidas de carga lineal (m)

L = Longitud de la tubería lateral (m)

F = Pérdidas de carga en tubería con salidas múltiples (m)

2.9.1.2 Pérdidas locales o pérdidas singulares (hs).

Son aquellas pérdidas menores producidas en accesorios y válvulas estos elementos influyen sobre al agua que circula por la tubería produciendo pérdidas de carga, se considera desde un punto de vista práctico el 20% de pérdida de carga de rozamiento. (Moratiel, 2017).

2.10 Evaluación del sistema de riego

Para la evaluación de los sistemas de riego se considera:

2.10.1 Evaluación de la uniformidad de riego

El objetivo de un diseño de sistema de riego es alcanzar una alta uniformidad de aplicación del agua, que se logra manteniendo la variación de presión a lo largo de la tubería lateral dentro de un rango aceptable. También es importante mencionar que la uniformidad no solo depende del diseño hidráulico, sino que existen otras causas de no uniformidad como puede ser la variación de fabricación del emisor y la no uniformidad de la tasa de aplicación de campo (Waller y Yitayew 2016).

Un sistema de riego por goteo eficiente tiene un alto potencial de disminuir las pérdidas de energía, agua y nutrientes solubles en el suelo, su uniformidad depende en gran medida de la variación de fabricación del emisor, variabilidad hidráulica inducida por la pendiente del terreno, las pérdidas de carga (hf) producidas en las tuberías, sensibilidad del emisor a las variaciones de presión, obstrucción de emisores y temperatura (Berber y Hafez, 2015).

2.10.2 Evaluación de las pérdidas por evaporación y arrastre del viento.

Dos factores que afectan negativamente la aplicación del agua sobre el suelo son la evaporación de las gotas de agua y el arrastre de dichas gotas por efecto de viento. En las pérdidas por evaporación y arrastre del viento tiene gran importancia el tamaño de las gotas. Cuando la gota es pequeña, los vientos y las temperaturas altas, mayores son las pérdidas (Fernández, 2010).

2.10.3 Eficiencia del sistema de riego

Es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada, que es captada desde la bocatoma principal y que luego es derivada al canal de

distribución para finalmente llevar el agua a nivel de parcela. Con esta se evaluará el caudal captado en la bocatoma, la cantidad de agua utilizada para el riego del cultivo.

MINAGRI (2015), menciona que la eficiencia de riego está compuesta por:

2.10.3.1 Eficiencia de conducción.

Contribuye a la evaluación de la pérdida de agua en el canal principal desde la bocatoma hasta la parte final del canal principal.

2.10.3.2 Eficiencia de distribución.

Mide las pérdidas que se producen entre la toma lateral del canal principal hasta la entrega de los usuarios de la zona de riego, un sistema de riego contiene varios canales de distribución, su valor dependerá del estado de los canales y estructura de distribución.

2.10.3.3 Eficiencia de aplicación.

Se denomina eficiencia de aplicación (E_a) a la fracción de agua que ha sido aplicada por el sistema de riego seleccionado y que está disponible para su uso en la planta, la cantidad de agua que no está disponible para la zona radicular de la planta puede haberse perdido por evaporación o desviación de las gotas de rociado por el viento, fugas de agua en el sistema de tuberías, escorrentía subterránea o percolación profunda. (Zoratelli et al. 2019).

2.11 Mantenimiento de los sistemas de riego.

Zoratelli et al. (2019) señala que los sistemas de riego necesitan un mantenimiento periódico durante la temporada de crecimiento del cultivo debido a que esta actividad puede requerir la operación del sistema durante periodos lluviosos. También menciona que los sistemas de riego por goteo pueden requerir mayor mantenimiento periódico por obstrucciones en la tubería y fallas del sistema.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación del área de estudio

El sector “La Dolorosa” se encuentra ubicado al sur de la parroquia Chuquiribamba provincia y cantón de Loja. En este barrio se ubica el predio “La Dolorosa”, sitio donde se realizó el presente trabajo de tesis y que corresponde a las siguientes coordenadas UTM WGS84:

Norte: 9577050
Este: 684000
Altitud: 2655 m.s.n.m.

Se puede acceder al predio desde la ciudad de Loja, por la ruta Loja-Catamayo tomando el desvío a la altura del km 11, y dirigiéndose rumbo a la parroquia Chuquiribamba, en la **Figura 7** se muestra la ubicación del predio

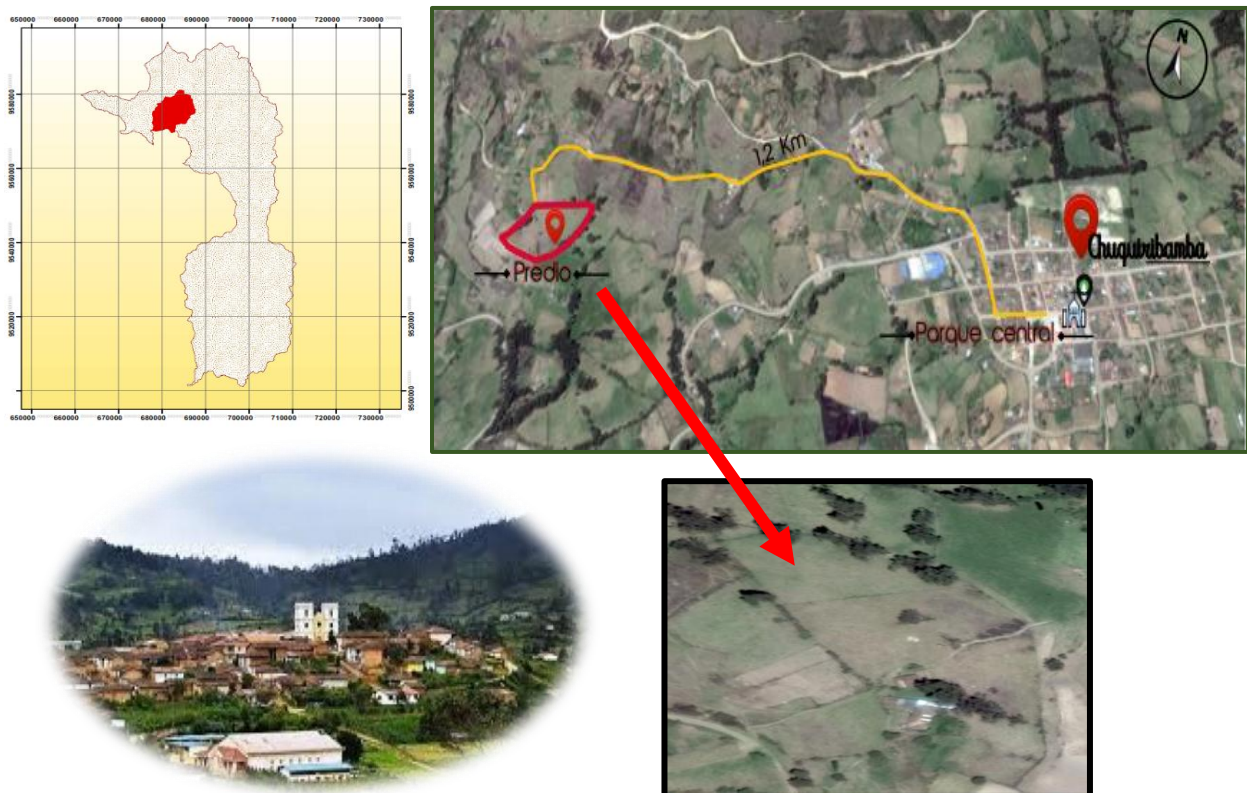


Figura 7. Ubicación del predio "La Dolorosa"

Fuente: Elaborado a partir de una imagen de Google Earth

3.1.1 Condiciones edafoclimáticas de la parroquia Chuquiribamba.

Las características de suelo, agua y clima de la parroquia Chuquiribamba más importantes se resumen en la **Figura 8**:

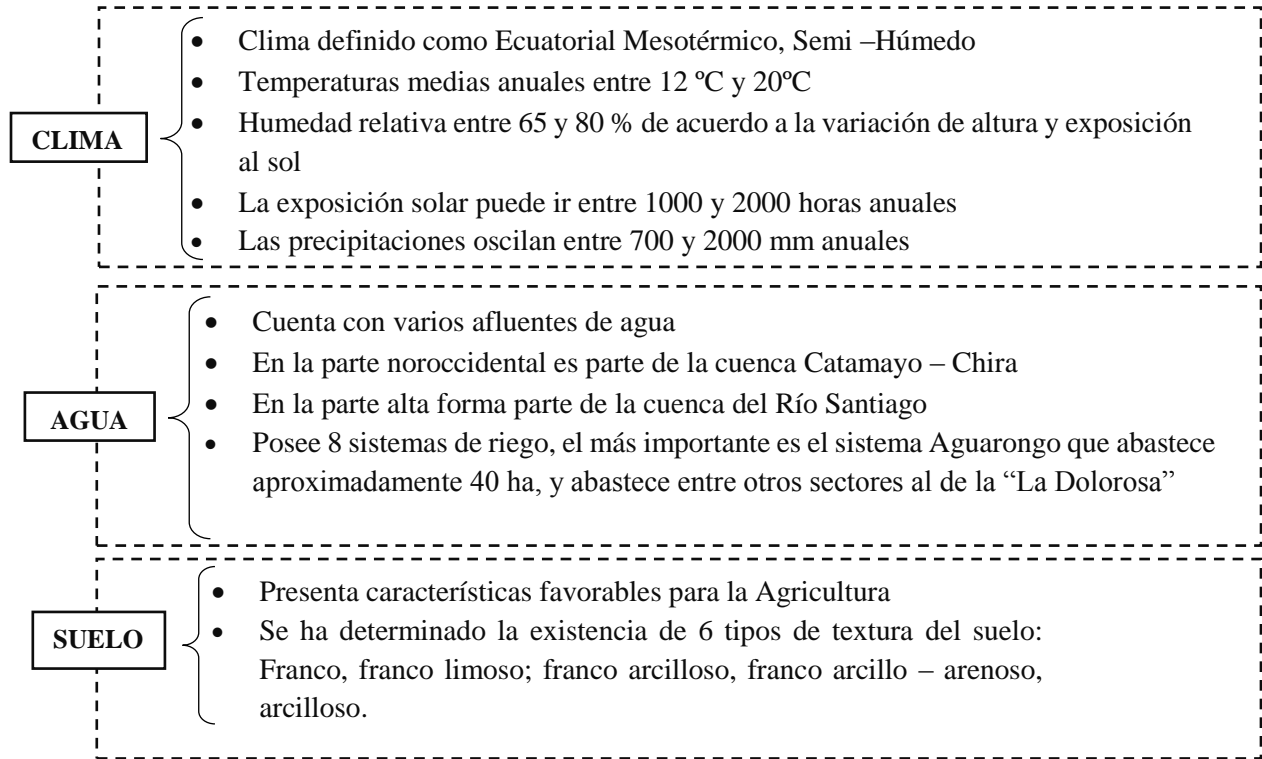


Figura 8. Características edafoclimáticas de la parroquia Chuquiribamba

Fuente: Adaptado del plan de ordenamiento territorial de la parroquia Chuquiribamba (2014-2019)

3.2 Materiales

3.2.1 Materiales y equipos de campo.

Entre los materiales de campo utilizados para realizar las diferentes mediciones y registros constan: cámara fotográfica, estación total/GPS, libreta de campo, cinta métrica, barreno, recipiente volumétrico de 10 litros, tejido nylon, muestras de suelo, barreno, regla, marcadores, cilindros koppecky (recolección de muestras de suelo inalteradas), cinta adhesiva, manómetro de mercurio (10 bar), accesorios de tubería (codos, tees, válvulas, etc.), flexómetro, combo, martillo, cilindros, pico, pala, pintura, anillos metálicos concéntricos de 45 cm de altura: interiores de 20 cm y exteriores de 30 cm de diámetro, recipientes de plástico de 10 litros para transportar agua,

jarra pequeña, machete, cruz de madera, vasos de plástico de diferente medida, colorante, cronómetro.

3.2.2 Materiales y equipos de laboratorio.

Entre los materiales de laboratorio para la determinación de las *constantes hidrofísicas*: balanza de precisión, estufa (soporte de 105°C), autoclave (soporte de 1 atm), placas de cerámica porosa, anillos de goma, compresor de aire, cápsulas de porcelana 150 ml.

Materiales para la determinación de la *textura de suelo*: vasos plásticos de 250 ml, pipetas de 5 ml, vasos de precipitación de 50 ml, piseta, varilla de agitación, probetas bouyoucos, agitador mecánico para suelos con sus accesorios, balanza analítica de precisión: 0,01g-0,00001g, hidrómetro (ASTM), termómetro: escala 0- 250 °C, cronómetro

3.2.3 Materiales y equipos de oficina.

Se utilizaron entre otros: computadora, reglas, lápiz, libreta, calculadora, modelo digital del terreno (curvas de nivel), catálogos de materiales y equipos de riego (aspersores, microaspersores, goteros, tubería), datos climáticos otorgados por el INAHMI, material bibliográfico.

3.3 Metodología

3.3.1 Generalidades

Antes de indicar en detalle el desarrollo metodológico mediante el cual se diseñaron los tres sistemas de riego: Aspersión, microaspersión y goteo es necesario señalar las siguientes consideraciones:

- El diseño de los tres sistemas de riego (aspersión, microaspersión y goteo) comparten una serie de datos iniciales comunes.
- El diseño de los sistemas de riego de microaspersión y aspersión (primer objetivo de la presente tesis) comparten el mismo diseño agronómico e hidráulico, sin embargo, la metodología es diferente en el sistema de riego por goteo.
- La metodología para la evaluación (segundo objetivo) del sistema de riego por microaspersión se la efectuó de acuerdo a la metodología propuesta por Fernández (2010);

mientras que para el sistema de riego por goteo su metodología de evaluación se la aplicó de acuerdo a el criterio de Christiansen citada por (Sarango, 2019).

- El manual de manejo y operación (tercer objetivo) se encuentra dividido en diferentes puntos que se los detallará posteriormente.

3.3.2 Datos iniciales.

Para cada sistema de riego se realizó un diseño agronómico e hidráulico, para el efecto, se trabajó con:

- Datos de campo.
- Información de sitios web especializados. La tabulación y su posterior procesamiento se realizó en diferentes programas informáticos (Excel, SIG, AUTOCAD CIVIL 3D).
- Análisis de agua otorgado por el “Gobierno Provincial de Loja” departamento de “Dirección General de Riego y Gestión Ambiental” y velocidad de infiltración.
- Muestras de suelo que posteriormente fueron llevadas para su análisis al “Laboratorio de Suelos de la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables” de la Universidad Nacional de Loja. (FARNR – UNL)
- Catálogos de fábrica de: aspersores, microaspersores, goteros, tubería y accesorios.

Antes de realizar el diseño agronómico e hidráulico es necesario determinar parámetros de campo y de laboratorio. La correspondencia entre cada uno de ellos y su utilidad para el respectivo diseño (agronómico y/o hidráulico) se resumen a continuación:

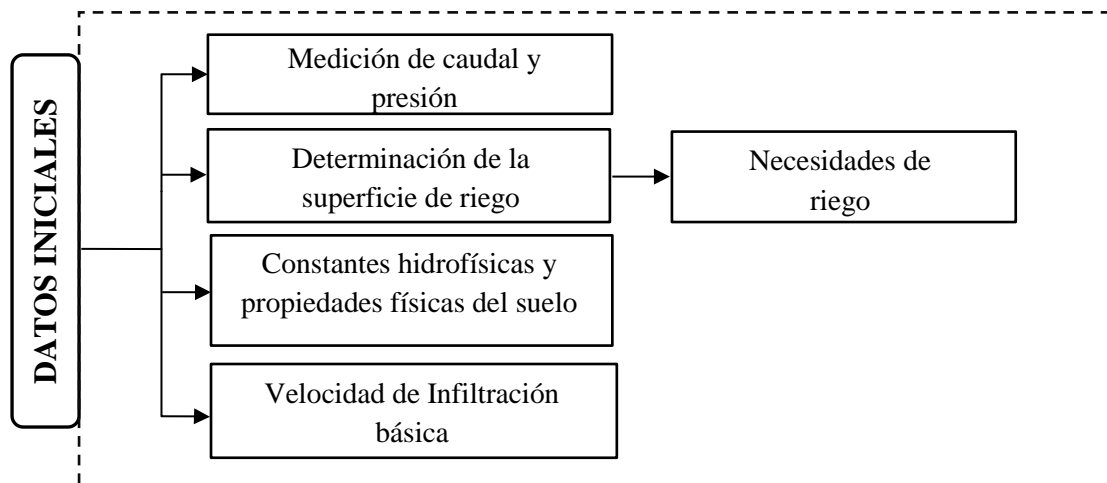


Figura 9. Esquema de la Información inicial conseguida en campo y laboratorio.

3.3.2.1 Fuente de agua y medición de presión.

La medición del caudal se realizó siguiendo la metodología del aforo volumétrico propuesto por Suárez (2018):

Se realizaron un conjunto de mediciones de las cuales se eliminaron los valores atípicos a fin de mantener un nivel de exactitud y precisión. Finalmente se procedió a determinar el caudal con la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{v}{t} \quad \text{Ecuación 3.}$$

Donde:

Q = Caudal en l/s

v = Volumen en litros (l)

t = Tiempo en segundos (s)

La medición de presión se efectuó con un manómetro, el cual se instaló en el extremo final de la tubería que llega al predio. Se realizó un conjunto de diez mediciones en diferentes horas del día.

3.3.2.2 Determinación de la superficie de riego.

El levantamiento planimétrico de la superficie a regar se lo realizó con la utilización de un GPS diferencial que permitió determinar el área, la topografía (**Anexo 18**) y la línea principal que abastece al terreno de agua para riego. El sistema de referencia del equipo para la asignación de coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre debe encontrarse en la Zona 17 Sur, DATUM WGS 84 en el sistema de proyección Universal Transversal Mercator (UTM).

Luego se procedió a levantar los puntos sobre el terreno, una vez obtenidos todos los datos se los traspasó y procesó desde el GPS al programa AUTOCAD CIVIL 3D 2019 donde se obtuvo la planimetría con curvas de nivel, lo que permitió establecer también los desniveles del terreno.

Se realizó la delimitación de las áreas a regar y de acuerdo a ello se calculó el número de plantas, aspersores, microaspersores y goteros, además de la ubicación de tuberías.

3.3.2.3 Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.

Para la determinación de las constantes hidrofísicas se tomaron las muestras de suelo disturbadas y no disturbadas dependiendo de la necesidad del requerimiento del análisis, posteriormente fueron llevadas al laboratorio de agua y suelos (FARNR – UNL), donde se procedió a realizar los diferentes análisis cuyos procedimientos se los mencionan a continuación:

- (i) **Recolección de muestras:** Se realizó una calicata de 1m x 1m donde se delimitó cada horizonte y de los dos primeros se tomó 3 muestras de suelo con dos repeticiones sucesivamente en los cilindros koppecky de 100 cm^3 , las muestras deben ser inalteradas y el exceso fue retirado realizando un corte transversal sobre las muestras.
- (ii) **Saturación de las muestras:** En el laboratorio las muestras fueron saturadas hasta que la parte superior del cilindro con suelo formó una película de agua es decir la muestra se encuentra a $pF=0$ en términos de volumen es igual a la porosidad total.
- (iii) **Determinación de la capacidad de campo:** Las muestras anteriormente saturadas se introdujeron en la autoclave y se sometieron a tensión de $1/3\text{ atm}$ ($pF= 2,52$) y a $1/10\text{ atm}$ ($pF=2.0$).
- (iv) **Determinación del punto de marchitez:** La muestra seca (que se obtuvo en la autoclave) se tamiza para posteriormente colocarla en anillos de caucho y ubicarla sobre la placa de la olla de presión a 15 atm ($pF=4,2$)
- (v) **Determinación de la densidad aparente:** Se pesa la muestra tamizada (el peso neto del suelo a tensión de $1/3\text{ atm}$ sobre 100)

Mediante la siguiente tabla propuesta por (Valarezo et al., 1998) citada por (Ortiz 2017) se conoce los valores de pF , equivalente en atmósferas utilizados:

Tabla 2. Valores de pF , con su equivalencia en atmósferas y sus clases de agua.

pF	Atm	Clases de agua
4,4	$\pm 28,8$	Agua higroscópica
4,2	15	Punto de marchitez permanente (PMP)
2,52	0,3	Capacidad de Campo (CC)

Fuente: Valarezo et al., 1998 citada por Ortiz 2017

3.3.2.3.1 Características físicas

Dentro de las características físicas se determinó la textura del suelo, para esto se utilizó muestras de suelos disturbadas de cada horizonte, se las tomó con un barreno y se las colocó en un recipiente señalando el horizonte al que pertenece, inmediatamente se las procedió a secar para luego determinar la textura del suelo por el método de Bouyoucos o método del hidrómetro, mediante el tiempo de sedimentación de la arena, limo y arcilla, seguidamente con la ayuda del diagrama textural **Figura 5** se determinó la textura del suelo

3.3.2.3.2 Curva de retención de la humedad del suelo

Una vez obtenidos los datos del laboratorio de constantes hidrofísicas de las muestras del suelo, se procede a realizar la curva que indica la relación entre la fracción de volumen de agua del suelo y la carga de presión, para la elaboración de su gráfico se utilizó una hoja de cálculo Excel.

3.3.2.4 Determinación de la velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Para determinar la infiltración se utilizó el método de los cilindros infiltrómetros simples con tres repeticiones. Es importante mencionar que anteriormente todo el terreno se encontraba sometido a pastoreo de ganado bovino.

Una vez obtenidos los datos del tiempo en que el agua se contacta con el suelo, se los procesa y se consigue una curva de infiltración acumulada, a partir de ella se obtiene un modelo matemático (k y n). Para determinar la velocidad de infiltración básica se utilizó la ecuación de Kostiakov adaptada por (Valarezo, 2008) citada por (Sarango, 2019).

Finalmente, la velocidad de infiltración básica obtiene el tiempo básico (T_b), el mismo que se lo define como el momento en el que la velocidad de infiltración comienza a permanecer relativamente constante en función del tiempo. Al T_b se lo encuentra en horas, pero se lo reemplaza en minutos por lo que se obtiene la velocidad de infiltración básica, cuya ecuación viene definida a continuación:

$$T_b = 10 (1 - n) \quad \text{Ecuación 4.}$$

Donde:

T_b = Tiempo básico en horas.

3.3.2.5 Necesidades hídricas del cultivo.

Su valor permitió conocer la cantidad de agua que requiere el cultivo para satisfacer la demanda de evapotranspiración, por lo cual se ocupó datos meteorológicos proporcionados por el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) e información del cultivo (valores de k_c , etapas fenológicas, altura del cultivo). Una vez conseguida dicha información se procedió a determinar lo siguiente:

3.3.2.5.1 Evapotranspiración de referencia (Eto)

La determinación de la Eto se realizó con la fórmula de Hargreaves simplificada de la FAO, no obstante, es necesario realizar las siguientes observaciones:

- La información meteorológica para la parroquia Chuquiribamba es limitada, puesto que la serie cronológica existente abarca únicamente un período de 5 años, mencionando además que esta serie se encuentra incompleta, razón por la cual se considera que no proporciona la robustez y confiabilidad de los resultados
- Se buscó una metodología apropiada que permita usar los datos de estaciones cuyas alturas se asemejen a la del sitio en estudio (2655 m.s.n.m.) siendo estas Argelia, Cariamanga, Saraguro y además provean una serie de datos de al menos 25 años. La metodología empleada corresponde a la propuesta por Fries et al., (2012) que usa el gradiente altitudinal.
- Los promedios mensuales que se obtuvieron de estas estaciones se compararon con los de la estación de Chuquiribamba mediante un análisis estadístico de varianza ANNOVA, identificando que no existe diferencia significativa entre ellos.
- Otra consideración es; que se utilizó, la fórmula de Hargreaves simplificada de la FAO, porque esta expresión matemática es la que mejor se ajusta a la información proporcionada por las estaciones: temperaturas y radiación solar.

La metodología propuesta se describe a continuación:

Los meteoros utilizados a partir de las estaciones meteorológicas son: temperatura máxima, mínima, media ($^{\circ}\text{C}$) y radiación solar ($\text{MJ}/\text{m}^2/\text{día}$), con un periodo de 25 años (1990-2015). Se utilizó el método de correlación lineal (de Pearson) en las estaciones que se asemejan al sitio de estudio en cuanto a su altura. Para ello se realizó la correlación entre dos variables (x,y) donde “x” es la altura (m.s.n.m) y “y” la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), si el coeficiente (r') se aproxima más a 1 la

correlación es afirmativa. Una vez obtenidas estas correlaciones se consideraron las siguientes estaciones:

Tabla 3. Estaciones meteorológicas utilizadas para determinar la Eto.

Estación	Tipo	Código	Altitud (m)	latitud	Longitud	Periodo
Argelia	Meteorológica	M0033	2160	669905.2	9554269	1995 - 2015
Cariamanga	Meteorológica	M0146	1950	659527.8	9521547	1995 - 2015
Saraguro	Meteorológica	M0142	2525	696358.3	9599619	1995 - 2015

Fuente: INAMHI

De la correlación se obtuvo un modelo matemático, ese valor se lo reemplazó en la **Ecuación 5** del gradiente altitudinal en cada una de las estaciones, una vez obtenida la temperatura determinada (T_{det}) se aplicó la **Ecuación 6** y se interpola en los sistemas de información geográfica (SIG) con un modelo de elevación digital (DEM) del área.

$$T_{det} = T_{mensual} + (r(Z_{det} - Z_{estación})) \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

T_{det} = Temperatura determinada °C

Z_{det} = Altura determinada del sitio al que se va a elevar la temperatura m.s.n.m.

$Z_{estación}$ = Altura a la que se encuentra la estación m.s.n.m.

$$T_{xy} = T_{det} + (r(Z_{xy(DEM)} - Z_{det})) \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

$T_{x,y}$ = Temperatura promedio mensual °C

T_{det} = Temperatura determinada °C

$Z_{xy(DEM)}$ = Modelo de información digital del sitio de estudio

r = Pendiente o gradiente altitudinal resultado de la correlación

$Z_{estación}$ = Altura a la que se encuentra la estación m.s.n.m.

Una vez obtenido los nuevos valores de temperatura máxima, mínima y media, se aplica la fórmula de Hargreaves simplificada para obtener los valores de Eto. Cabe destacar que para el valor de la radiación solar se efectuó el mismo procedimiento que el de las temperaturas. A continuación, se presenta la fórmula de Hargreaves simplificada

$$ET_o = 0.0023(t_{med} + 17.78)R_o * (t_{max} - t_{min})^{0.5} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

ETo = Evapotranspiración mm/día

t_{med} = Temperatura media °C

t_{max} = Temperatura máxima °C

t_{min} = Temperatura mínima °C

R_o = Radiación solar en mm/día

3.3.2.5.2 Gráfico de la curva del coeficiente del cultivo (kc).

- Para determinar el coeficiente (kc) se consideró un plan de cultivos proporcionado por el agricultor, el cual fue:
Sistema de aspersión: pasto.
Sistema de microaspersión: manzana
Sistema de goteo: tomate de árbol.
- El valor del kc va en función del tamaño de los árboles y de la densidad de la plantación.
- Posteriormente se procedió a identificar las etapas de desarrollo (etapas fenológicas) de cada uno de los ellos, para ello se graficó la curva del kc tomando la fecha de siembra y los meses que tarda en desarrollarse el cultivo, siendo el eje “x” el periodo de desarrollo del cultivo y el eje “y” el valor del kc propuesto por la FAO, obteniendo valores cada 15 días.

3.3.2.5.3 Determinación de la evapotranspiración del cultivo (ETC)

Una vez obtenidos los valores, de la Evapotranspiración de referencia y del kc se aplica la siguiente fórmula:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

Ecuación 8.

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo mm/mes

K_c = Coeficiente del cultivo

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia mm/mes

3.3.2.5.4 Precipitación efectiva (Pe).

El cálculo de la precipitación efectiva permitió conocer la precipitación útil para satisfacer la demanda del cultivo, para ello se utilizó el Método U.S. National Weather Service cuya metodología consiste en estimar la precipitación en un centro de gravedad, en este caso se colocó un punto central en el sitio y se determinó a partir de datos de precipitación media la precipitación para el sitio de estudio. Se desarrolló el siguiente procedimiento:

Selección de las estaciones climáticas

- Para seleccionar las estaciones es necesario conocer cuáles rodean el sitio, por ello se utilizó los Sistemas de Información Geográfica (SIG), una vez elegidas se procedió a adquirir la información proporcionada por los anuarios meteorológicos del INAMHI con un periodo de 22 años cuyas estaciones son las siguientes:

Tabla 4. Estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de la precipitación efectiva.

Estación	Tipo	Código	Altitud (m)	Latitud	Longitud	Periodo
Argelia	Meteorológica	M0033	2160	669905.2	9554269	1990 - 2012
Catamayo	Aeronáutica	M0060	1230	680642.5	9558043	1990 - 2012
El Cisne	Pluviométrica	M0542	2340	675290.6	9574066	1990 - 2012
San Lucas	Pluviométrica	M0432	2525	692844.0	9586943	1990 - 2012

Fuente: INAMHI

Método U.S. National Weather Service

- Una vez elegidas las estaciones se empleó la siguiente ecuación por cada mes:

$$P = \frac{P_1 \left(\frac{1}{d_1}\right)^2 + P_2 \left(\frac{1}{d_2}\right)^2 + \dots + P_n \left(\frac{1}{d_n}\right)^2}{\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2} + \dots + \frac{1}{d_n^2}} \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

P = Precipitación media ponderada

$P_1, P_2 \dots \dots P_n$ = Precipitaciones medias consideradas de las estaciones

$d_1, d_2 \dots \dots d_n$ = Distancias de cada estación hacia el punto central del sitio.

Cuantificación de la precipitación efectiva

- Se multiplica el promedio de las precipitaciones de cada mes por 0.75 factor de corrección propuesto por Servin et al., (2017).
- Finalmente se emplea la ecuación de la USDA para $P_{tot} < 250 \text{ mm}$

$$P_{ef} = P_{tot} \frac{(125 - 0.2P_{tot})}{125} \quad \text{Ecuación 10.}$$

3.3.2.5.5 Necesidades de riego

Consiste en conocer la oferta de agua en el suelo y su relación con el crecimiento del cultivo, por lo cual se utilizó la ecuación:

$$\text{Necesidades de riego} = ETC - P_e \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

P_e = Precipitación efectiva en mm/mes

ETC = Evapotranspiración de referencia en mm/mes:

3.3.2.5.6 Necesidades brutas (Nb).

Es el fraccionamiento del balance hídrico con la eficiencia del sistema de riego (E_a), este parámetro se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$Nb = \frac{ETc}{E_a} \quad \text{Ecuación 12.}$$

3.3.2.5.7 Caudal ficticio continuo.

Este valor se lo calculó en litros por segundo por hectárea a partir de las necesidades brutas para todos los días del mes, se aplica la ecuación:

$$q_c = \frac{10^4 N_b}{d_1 \times 24 \times 3600} \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde:

q_c = Caudal continuo $lxs^{-1}ha^{-1}$

N_b = Necesidades brutas del mes de máxima exigencia hídrica del cultivo (mm/mes)

d_1 = Número de días de riego al mes

O puede ser también mediante la siguiente expresión:

$$q_c = \frac{N_b}{Eficiencia_{sistema} \times 8.64} \quad \text{Ecuación 14.}$$

3.3.3 Diseño agronómico

Una vez obtenida la información primaria y las necesidades brutas de la planta se procede a calcular los parámetros que permiten planificar el uso del agua en el cultivo en épocas de máxima necesidad.

3.3.3.1 Diseño agronómico de los sistemas de riego por aspersión y microaspersión.

Su diseño permite conocer: la cantidad de agua en términos de lámina, frecuencias y tiempos de riego, selección del aspersor, microaspersor, y caudales en las tuberías laterales y secundaria, los pasos para su determinación se indican en la **Figura 10** y se describen a continuación:

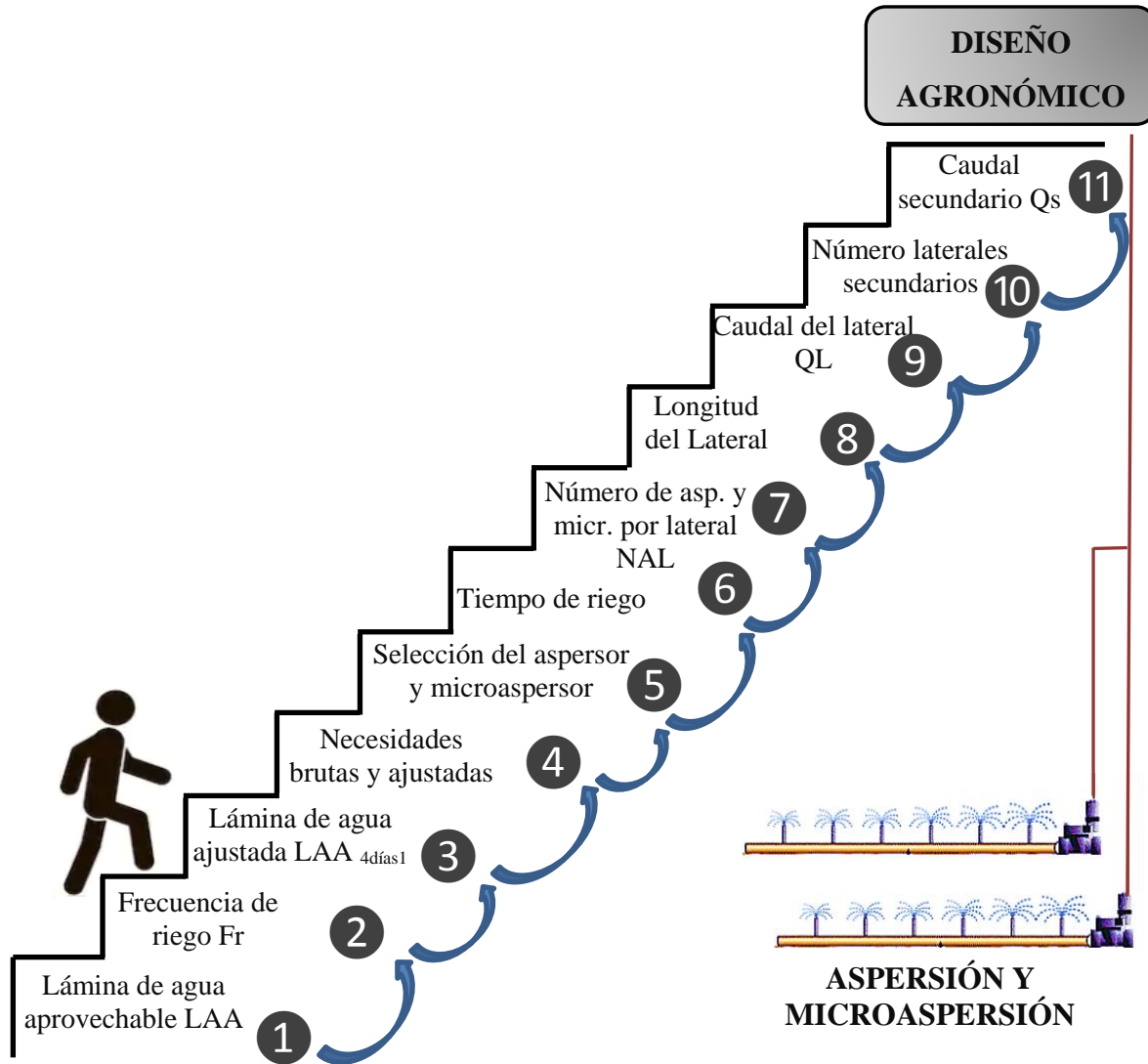


Figura 10. Esquema del diseño agronómico para el sistema de riego por aspersión y microaspersión.

3.3.3.1.1 Lámina de agua aprovechable (LAA).

Para este parámetro se utilizaron los datos de las características físicas e hidrofísicas del suelo y valores de profundidad efectiva de las raíces encontrados en estudios agronómicos realizados a cada uno de los cultivos. Se utilizó la presente ecuación y el umbral de riego $f = 0.5$ (decimal)

Donde:

$$LAA = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Pef * f \quad \text{Ecuación 15.}$$

Donde:

Ln = Lámina neta o lámina de agua aprovechable (mm)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

Da = Densidad aparente (g/cm^3)

Pef = Profundidad efectiva de la raíz (mm)

f = Factor de agotamiento o Umbral de riego (%)

3.3.3.1.2 Frecuencia de riego (*Fr*).

Es la continuidad en días con la que se va a aplicar agua a los cultivos. Para su cálculo su valor se estima con la siguiente fórmula:

$$Fr = \frac{LAA}{Nr} \quad \text{Ecuación 16.}$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

Ln = Lámina neta (mm)

Nr = Necesidades de riego (mm/día)

3.3.3.1.3 Lámina de agua aprovechable ajustada (*Fr_j*)

Para el ajuste se consideró la frecuencia de cuatro días establecida por la Junta de Regantes del Sector “La Dolorosa”, determinando una nueva lámina en mm.

$$LAA_{4 \text{ días}} = ETC * Fr_j \quad \text{Ecuación 17.}$$

Donde:

$LAA_{4 \text{ días}}$ = Lámina ajustada para cuatro días (mm).

ETc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

Fr_j = Frecuencia de riego establecida (días).

3.3.3.1.4 Necesidades brutas ajustadas (Nb_j)

También llamada lámina de riego aprovechable, se obtiene de la división de la $LAA_{4 \text{ días}}$ para la eficiencia de aplicación del sistema; la ecuación es:

$$Nb_j = \frac{LAA_{4 \text{ días}}}{Ea} \quad \text{Ecuación 18.}$$

3.3.3.1.5 Selección del aspersor y microaspersor

La velocidad de infiltración (VIB) conjuntamente con las características proporcionadas por el catálogo de fábrica: presión, caudal de emisión, diámetro húmedo, y su disposición entre aspersores o microaspersores, son factores que influyen para su selección.

Distribución de agua sobre el suelo

Los elementos que distorsionan la uniformidad de aplicación de agua por el sistema son el viento y el marco de separación. Para conocer el diámetro húmedo real del sistema, se parte del diámetro húmedo del catálogo y se procede a realizar las siguientes reducciones:

- De acuerdo a Fernández (2010) el porcentaje de reducción para marcos rectangulares y cuadrados es de 60%.
- Se redujo el 12% por velocidades de viento igual a 4 m/s

Intensidad de precipitación

Se lo determina a partir del caudal del aspersor seleccionado y de la nueva disposición del sistema, se aplica de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$IP = \frac{qa}{Sa \times Sl} \quad \text{Ecuación 19.}$$

Donde:

IP = Intensidad de precipitación (mm/h)

Qa = Caudal de descarga del aspersor o microaspersor (l/h)

Sa = Distancia entre aspersores (m)

Sl = Distancia entre laterales (m)

El microaspersor o aspersor seleccionado debe cumplir con el siguiente criterio: la intensidad de precipitación debe ser menor que la VIB para prevenir encharcamientos por la baja penetración de agua en el suelo, pérdidas de agua por escorrentía. El problema se agudiza si el terreno tiene pendiente ya que provoca erosión y pérdidas tanto de suelo como nutrientes.

3.3.3.1.6 *Tiempo de riego (Tr).*

Con la nueva lámina para cuatro días, se emplea la siguiente fórmula para conocer los tiempos en los que va a permanecer funcionando el sistema durante el día.

$$Tr = \frac{LAA_{4días}}{IP} \quad \text{Ecuación 20.}$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (horas)

$LAA_{4 días}$ = Lámina ajustada para cuatro días.

IP = Intensidad de precipitación del aspersor o microaspersor (mm/h)

3.3.3.1.7 *Número de aspersores o microaspersores por lateral (NAL)*

Se considera la longitud del lateral y la distancia entre aspersores o microaspersores:

$$NAL = \frac{LTL}{Sa} \quad \text{Ecuación 21.}$$

Donde:

NAL = Número de aspersores o microaspersores por lateral (unidad)

LTL = Longitud total del lateral (m)

Sa = Distancia entre aspersores (m)

3.3.3.1.8 Longitud del lateral (*LL*).

Para ello se considera la ubicación $Sa/2$ del primer aspersor o microaspersor desde la cabecera del lateral.

$$LL = Sa (n - 0.5) \quad \text{Ecuación 22.}$$

Donde:

LL = Longitud del lateral (m)

Sa = Espacio entre aspersores o microaspersores (m).

n = Número de aspersores o microaspersores (u)

3.3.3.1.9 Caudal del lateral (*QL*).

Se determinó a partir del caudal del aspersor o microaspersor dado del catálogo y su número en cada lateral.

$$QL = Qa * NAL \quad \text{Ecuación 23.}$$

Donde:

QL = Caudal del lateral (l/h)

Qa = Caudal de fábrica del aspersor o microaspersor (l/h)

NAL = Número de aspersores o microaspersores por lateral (unidad)

3.3.3.1.10 Número de laterales en la tubería secundaria.

Para su cálculo se utilizó la siguiente expresión:

$$NLS = \frac{LTS}{SL} * n \quad \text{Ecuación 24.}$$

Donde:

NLS = Número de laterales en la tubería secundaria (unidad)

LTS = Longitud total en dirección de la tubería secundaria (m)

SL = Espacio entre laterales (m)

n = Número de lados (unidad)

Para el diseño de la microaspersión se consideró para el número de laterales las distancias a las que se encuentran las camas.

3.3.3.1.11 Caudal de la tubería secundaria (Q_s).

Se lo cálculo a partir de:

$$Q_s = QLxNLS \quad \text{Ecuación 25.}$$

Donde:

Q_s = Caudal de la tubería secundaria (l/h)

QL = Caudal del lateral (l/h)

NLS = Número de laterales en la tubería secundaria (u)

3.3.3.2 Diseño agronómico sistema de riego por goteo.

A partir de las necesidades brutas (mm/día), resultado obtenido en los requerimientos de riego y a la metodología propuesta por Pizarro (1996) citada por Alfaro y Nomberto (2015), se procedió a determinar lo siguiente:

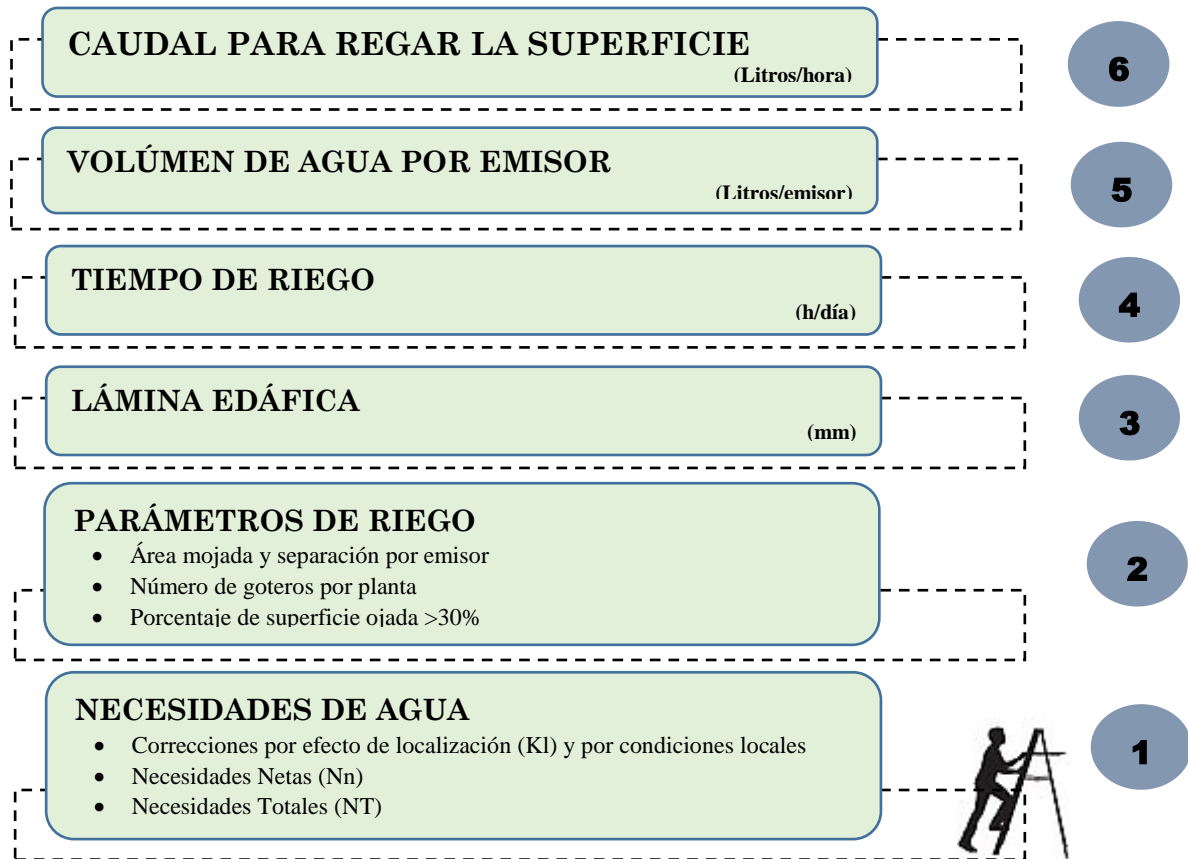


Figura 11. Esquema del procedimiento para el diseño agronómico del sistema de riego por goteo.

3.3.3.2.1 Necesidades de agua.

Para su cálculo se realizaron las siguientes correcciones:

- Correcciones por efecto de localización (KI)
- Correcciones por condiciones locales
- Necesidades netas de riego (Nn)
- Necesidades totales (NT)

A partir de dichas correcciones se sigue el siguiente procedimiento:

Fracción del área sombreada de la planta

La fracción sombreada de la planta con relación a la superficie que moja, se calcula a partir de la proyección de la copa del árbol sobre el suelo por la densidad de las plantas (a x b).

$$A = \frac{\pi Dm^2}{4(a * b)} \quad \text{Ecuación 26.}$$

Donde:

A = Área sombreada de la planta (m²)

Dm² = Diámetro de la copa del árbol (m)

a = Distancia entre plantas (m)

b = Distancia entre surcos (m)

Diversos autores relacionan al coeficiente de localización Kl con el área sombreada de la planta obteniendo las siguientes fórmulas.

$$\text{Aljibury} \Rightarrow Kl = 1,34 A$$

$$\text{Decroix} \Rightarrow Kl = 0,1 + A$$

$$\text{Hoare} \Rightarrow Kl = A + 0,5(1 - A)$$

$$\text{Keller} \Rightarrow Kl = A + 0,15(1 - A)$$

Se elimina el mayor y el menor valor, con los resultantes se hace un promedio y se obtiene el valor de Kl

Correcciones por condiciones locales

Son los efectos ocasionados por las condiciones del sitio sobre la evapotranspiración corregida, se lo realiza puesto que en el riego localizado la aplicación del agua es exacta, por lo cual se tiene:

- **Variación climática (Kv):** Se adaptó el criterio de Hernández Abreu, el cual indica la aplicación de un coeficiente comprendido entre 1.15 y 1.20. Tomando el valor de Kv= 1.20 para este diseño

- **Variación por advención (Ka):** Se lo obtiene a partir de la superficie que se va a regar y de la naturaleza del cultivo. Para ello se empleó la **Figura 12** correspondiente al factor de advención

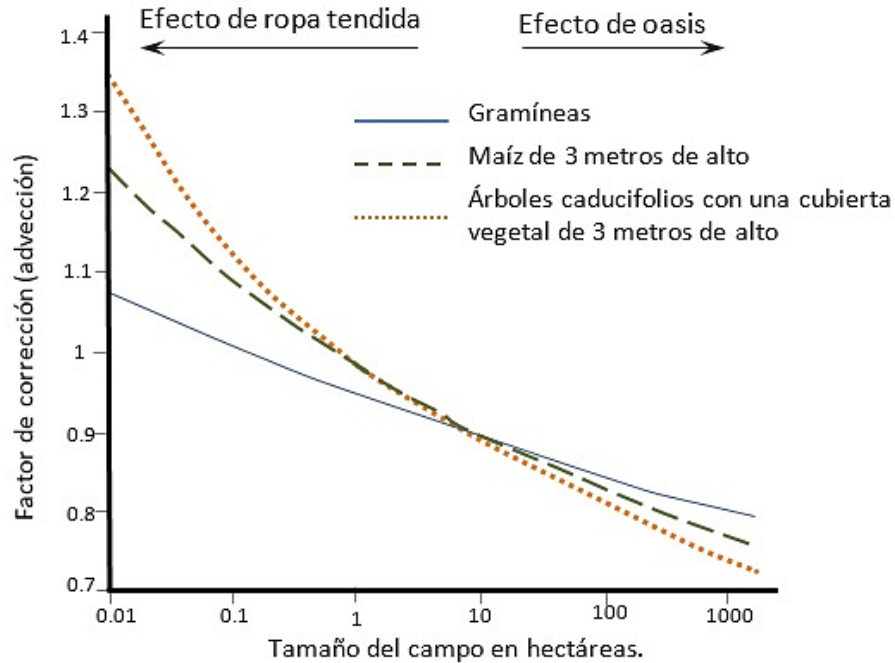


Figura 12. Coeficiente de advención de acuerdo al área del terreno.

Fuente: Pizarro (1996) adaptada por Alfaro y Nomberto (2015)

Una vez obtenidos los valores de corrección se los multiplica por la ETC obteniendo el valor de evapotranspiración corregida E_{trl} . De acuerdo a la siguiente fórmula:

$$E_{trl} = E_{tc} \times K_l \times K_v \times K_a \quad \text{Ecuación 27.}$$

Necesidades netas de riego (Nn)

Una vez obtenido el valor de (E_{trl}). Se calculó las necesidades netas (Nn) a partir del balance hídrico:

$$N_n = E_{trl} - (P_e + G_w + \Delta w) \quad \text{Ecuación 28.}$$

Donde:

E_{trl} = Evapotranspiración corregida en mm/día

P_e = Precipitación efectiva valor igual a 0 (mm)

Gw = Aporte capilar, valor igual a 0 (mm)

Δw = Variación en el almacenamiento de agua, valor igual a 0 (mm)

Necesidades totales de riego (Nt)

Para el cálculo de las necesidades totales se necesitó el análisis de agua del terreno y se consideró:

- Pérdidas por percolación (K)
- Eficiencia de aplicación con un valor de 90% para riego por goteo (Ef)

$$k = 1 - \text{ef. aplicacion} \quad \text{Ecuación 29.}$$

Necesidades de lavado (Lr)

$$LR = \frac{CEi}{2CEs * f} \quad \text{Ecuación 30.}$$

Donde:

CEi = Conductividad eléctrica del agua de riego.

CEs = Conductividad eléctrica del extracto de saturación.

f = Eficiencia de aplicación.

Nota: entre los valores del k y Lr se eligió el valor más alto

Para el cálculo de las Necesidades Totales (Nt) se aplica la siguiente ecuación:

$$NT = \frac{Nn}{Cu(1 - k)} \quad \text{Ecuación 31.}$$

Donde:

Nn =Necesidades netas mm/día

k = Coeficiente de pérdidas por percolación

Cu = Coeficiente de uniformidad (Cu) valor de 0.9 teniendo en cuenta una excelente uniformidad al ser goteros auto compensados

Necesidades diarias por árbol

Se las calcula de acuerdo a el marco de riego en mm/día

$$N_{diarias} = NT * a * b \quad \text{Ecuación 32.}$$

Donde:

a = Separación entre laterales

b = Separación entre emisores

Caudal ficticio continuo

$$Q_c = \frac{NT * 10000}{24 * 3600} \text{ l/s * ha} \quad \text{Ecuación 33.}$$

3.3.3.2.2 Parámetros de riego

Son parámetros que luego condicionan al posterior diseño hidráulico, todos estos parámetros están relacionados entre sí empezando por:

i. Área mojada por emisor

Para este parámetro se utilizó la textura del suelo Franco arcillo arenoso y la siguiente ecuación para determinar el diámetro húmedo:

$$\text{Textura Gruesa} = 0.3 + 0.12q \quad \text{Ecuación 34.}$$

Y la siguiente ecuación para el área mojada en m^2

$$A_{me} = \frac{\pi * Dm^2}{4} \quad \text{Ecuación 35.}$$

ii. Separación de emisores

Para la determinación del solape se considera la ecuación, considerando un porcentaje de solape como mínimo 15%, y máximo 30%.

$$Se = Rm \left(2 - \frac{a}{100} \right) \quad \text{Ecuación 36.}$$

Donde:

S = Solape de emisores (m)

Rm = Radio del bulbo (m)

a = Porcentaje de solape

iii. Número de goteros por planta

Se utiliza la siguiente expresión:

$$e > \frac{Sp * P}{100 * Ae} \text{ o } e = \frac{1}{Se * sl} \quad \text{Ecuación 37.}$$

Donde:

e = Número de emisores por planta (u)

P = Porcentaje de suelo mojado propuesto por Keller en casos de árboles para clima húmedo 50%

Sp = Disposición entre plantas m^2

Ae = Área mojada del emisor m^2

Se = Superficie por emisor m^2

Sl = Separación entre laterales m^2

iv. Porcentaje de superficie mojada

El riego por goteo aplica agua solamente a una parte del suelo, por lo cual se establece un mínimo volumen de suelo a humedecer por lo cual el porcentaje se lo determina con la siguiente expresión:

$$P = \frac{e * 100 * Ae}{Sp} \quad \text{Ecuación 38.}$$

3.3.3.2.3 Lámina edáfica (mm). Corrección por porcentaje de suelo mojado

Es la cantidad de agua que se va a reponer en el suelo. Se calculó de acuerdo a:

$$Ln = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * Prof * Da * Ur \quad \text{Ecuación 39.}$$

Donde:

Ln = Lámina edáfica o lámina de riego (cm)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

Prof = Profundidad radicular (cm)

Da = Densidad aparente g/cm^3

Ur = Umbral de riego para este diseño se eligió el 50%

3.3.3.2.4 Tiempo de riego (h/día).

Es el tiempo que necesita aplicar agua al suelo para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo. Por lo cual:

$$t = \frac{Nt * I}{e * qa} \quad \text{Ecuación 40.}$$

Donde:

t = Tiempo de riego (h/día)

Nt = Necesidades totales (l/árbol/día)

I = Intervalos de riego en días. Para el diseño se asumió el riego cada cuatro días

e = Número de emisores por planta (u)

qa = Caudal del emisor (l/h)

Nota: se toma a consideración de riego cada 4 días en función de los turnos establecidos por la junta de regantes.

3.3.3.2.5 Volumen de agua por emisor

Para su determinación se realiza con la siguiente expresión:

$$Ve = \frac{NT * I}{e} \quad \text{Ecuación 41.}$$

Donde:

Ve = Volumen de agua por emisor (l/emisor)

e = Número de emisores por planta (u)

Nt = Necesidades totales (l/árbol/día)

I = Intervalos de riego en días. Para el diseño se asumió el riego cada cuatro días

3.3.3.2.6 Frecuencia de riego

Tiempo entre riegos consecutivos, cuando no hay aportación de precipitaciones

$$I = \frac{e * Ve}{Nt} \quad \text{Ecuación 42.}$$

Donde:

I = Intervalo de riego en días

Ve = Volumen de agua por emisor (l/emisor)

e = Número de emisores por planta (u)

Nt = Necesidades totales (l/árbol/día)

3.3.3.2.7 Caudal necesario para regar la superficie.

Se utilizó la siguiente expresión:

$$Qnec = \frac{qa * e * A}{Se * Sl} \quad \text{Ecuación 43.}$$

Donde:

Qnec = Caudal necesario para regar la superficie (l/h)

qa = Caudal del emisor (l/h)

e = Número de emisores por planta (u)

$Se \times Sl = \text{Marco de riego } m^2$

$A = \text{Superficie a regar } m^2$

3.3.4 Diseño hidráulico.

El diseño hidráulico permitió conocer, el dimensionado, distribución y componentes de las tuberías.

3.3.4.1 Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión y microaspersión.

El diseño hidráulico contribuye al dimensionamiento de todos los componentes que constituyen el sistema de riego. Para ello se utilizaron dos criterios:

- Pérdidas de carga por fricción (hf) y la diferencia de presiones en cada lateral no deben superar el 20% de la presión de servicio o nominal (Ps) del aspersor o microaspersor. Norma propuesta por Christiansen (1942) citada por Franquet Y Josep (2019). Siendo:

$$hf < 20\%Ps$$

- La velocidad del flujo debe estar entre 0.5 a 2.5 m/s.

En base a estos criterios se dimensionó los diámetros de la tubería y las pérdidas que se producen en ellas.

3.3.4.1.1 Pérdidas de carga (H_f).

Para las pérdidas de fricción se consideró pérdidas de carga lineal (J) por lo que se utilizó la fórmula de Hazen-Williams **Ecuación 44**, el factor de corrección propuesto por Cristhiansen para tuberías con múltiples salidas y su longitud. Por lo cual se tiene:

$$J = 1.21 \times 10^{10} \left(\frac{Q}{C}\right)^{1.852} * D^{-4.87} \quad \text{Ecuación 44.}$$

Donde:

J = Pérdida de carga lineal (m/m)

Q = Caudal (l/s)

C = Coeficiente de fricción, depende de la naturaleza y estado material

D = Diámetro interior de la tubería (mm)

$$F = \frac{a}{m + 1} + \frac{1}{2n} + \frac{(m - 1)^{0.5}}{6n^2} \quad \text{Ecuación 45.}$$

Donde:

F = Factor de Christiansen (adimensional)

m = Exponente de la velocidad en la fórmula usada para calcular la pérdida de presión causada por la fricción.

n = Número de salidas a lo largo de la tubería

De la cual se obtiene:

$$hf = J * l * F \quad \text{Ecuación 46.}$$

Donde:

J = Pérdidas de carga lineal (m/m)

F = Factor de Christhiansen (adimensional)

L = Longitud de la tubería (m)

3.3.4.1.2 Velocidad media del flujo.

Para determinar la velocidad permisible en las tuberías de los laterales, secundaria y principal de los sistemas de riego: aspersión, microaspersión y goteo; se utilizó el criterio citado por Alfaro y Nomberto (2015), el cual considera los diámetros, caudales, pérdidas de carga (hf) y presiones para su determinación.

Por lo cual se tomó el siguiente criterio:

$$0.6 \text{ m/s} < v_{perm} > 2.0 \text{ m/s}$$

Para la velocidad media del flujo se consideró la siguiente ecuación:

$$V = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 47.}$$

Donde:

V = Velocidad media de la tubería (m/s)

Q = Caudal de conducción de la tubería (m^3/s)

A = Área de la sección circular interna de la tubería (m^2)

Para calcular el área interna de la tubería se utilizó la siguiente expresión matemática:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad \text{Ecuación 48.}$$

Donde:

A = Área de la sección circular interna de la tubería (m^2)

D = Diámetro interior de la tubería (m)

3.3.4.1.3 Presiones en el lateral: Inicio, media y final.

En cada ramal para lograr una buena uniformidad se consideran las pérdidas de carga por la pendiente:

- Si la tubería es ascendente la presión se pierde
- Si la tubería es descendente se gana presión.

Partiendo de la metodología de Biswas, (2015) para el diseño de laterales se tiene que:

- De acuerdo a la topografía del sitio, el recorrido de la tubería del lateral es en forma descendente para aspersión y lateral horizontal en la microaspersión, por lo que:

Presión Aspersores: inicio y final (Tubería lateral descendente)

Las presiones se las calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

- Condición de diseño del lateral

$$\frac{Pn}{\gamma} - \left(\frac{Po}{\gamma} - Ha \right) + Hg - Hf \leq 0.2 \frac{Pa}{\gamma} \quad \text{Ecuación 49.}$$

- Presión al inicio del lateral $\left(\frac{Po}{\gamma} \right)$

$$\frac{Po}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} + \frac{3}{4}Hf - \frac{Hg}{2} + Ha \quad \text{Ecuación 50.}$$

Donde:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \text{Presión al origen del lateral (m)}$$

$$\frac{P_a}{\gamma} = \text{Presión de trabajo aspersor (m)}$$

$$H_f = \text{Pérdidas de carga del lateral (m)}$$

$$H_a = \text{Altura del elevador (m)}$$

$$H_g = \text{Diferencia de alturas (m)}$$

- Presión al final del lateral $\left(\frac{P_n}{\gamma}\right)$.

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_o}{\gamma} - H_f + H_g - H_a \quad \text{Ecuación 51.}$$

Donde:

$$\frac{P_n}{\gamma} = \text{Presión final del lateral (m)}$$

Una vez determinadas estas presiones se procede a realizar nuevamente los cálculos a partir de las siguientes ecuaciones:

- Presión del primer aspersor (P_{pa}).

$$P_{pa} = \frac{P_o}{\gamma} - H_a \quad \text{Ecuación 52.}$$

- Presión del último aspersor (P_{ua}).

$$P_{ua} = P_{pa} - H_f \quad \text{Ecuación 53.}$$

- Presión al final del lateral $\left(\frac{P_n}{\gamma}\right)$.

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_o}{\gamma} - H_f \quad \text{Ecuación 54.}$$

- Diferencia de presiones (ΔP).

$$\Delta P = \frac{P_o}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} \quad \text{Ecuación 55.}$$

Presión Microaspersión: origen y final (Tubería lateral horizontal)

Las presiones se las calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

- Condición de diseño del lateral

$$\left(\frac{Po}{\gamma} - Ha\right) - \frac{Pn}{\gamma} \leq 0.2 \frac{Pa}{\gamma} \quad \text{Ecuación 56.}$$

- Presión al origen del lateral $\left(\frac{Po}{\gamma}\right)$

$$\frac{Po}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} + \frac{3}{4}Hf + Ha \quad \text{Ecuación 57.}$$

Donde:

$\frac{Po}{\gamma}$ = Presión al origen del lateral (m)

$\frac{Pa}{\gamma}$ = Presión de trabajo micoaspersor (m)

Hf = Perdidas de carga del lateral (m)

Ha =Altura del elevador (m)

- Presión al final del lateral $\left(\frac{Pn}{\gamma}\right)$

$$\frac{Pn}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} - \frac{1}{4}Hf \quad \text{Ecuación 58.}$$

Donde:

$\frac{Pn}{\gamma}$ = Presión final del lateral (m)

Una vez determinadas estas presiones se procede a realizar nuevamente los cálculos utilizando la serie de ecuaciones a partir de la **Ecuación 52** hasta la **Ecuación 55**.

3.3.4.1.4 Diseño de la tubería secundaria.

Para el diseño de la tubería secundaria se procedió a realizar lo siguiente:

Para la tubería secundaria del aspersor: Se calculó las pérdidas de carga de la tubería secundaria con la **Ecuación 2** sin considerar el coeficiente de salidas múltiples de Christiansen.

Para la tubería secundaria del microaspersor: Se calcula las pérdidas de carga de la tubería secundaria con la fórmula de Hazen-Williams. También es importante destacar que como se va a regar en una sola tanda se considera también el coeficiente de salidas múltiples de Christiansen.

Una vez determinada las pérdidas se realiza una sumatoria incluyendo: pérdidas de carga por fricción, presión de origen del lateral y pérdidas de accesorios.

$$hf_t = hf + \frac{P_o}{\gamma} + h_s \quad \text{Ecuación 59.}$$

A estas pérdidas se les resta la diferencia de altura por pendiente tomando a consideración que no deben superar la presión que llega al terreno.

3.3.4.2 Diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.

El cálculo del diseño hidráulico permitió calcular el diámetro de la tubería que mejor se adecue al diseño y que cumpla con todos los parámetros técnicos, hay que considerar que los goteros seleccionados son auto compensados, estos permiten la distribución de cantidades iguales de agua y presión por lo cual se consideró para el diseño la metodología de Arviza, Balbestre y Palau (2016), que se encuentra representada en el siguiente diagrama de flujo:

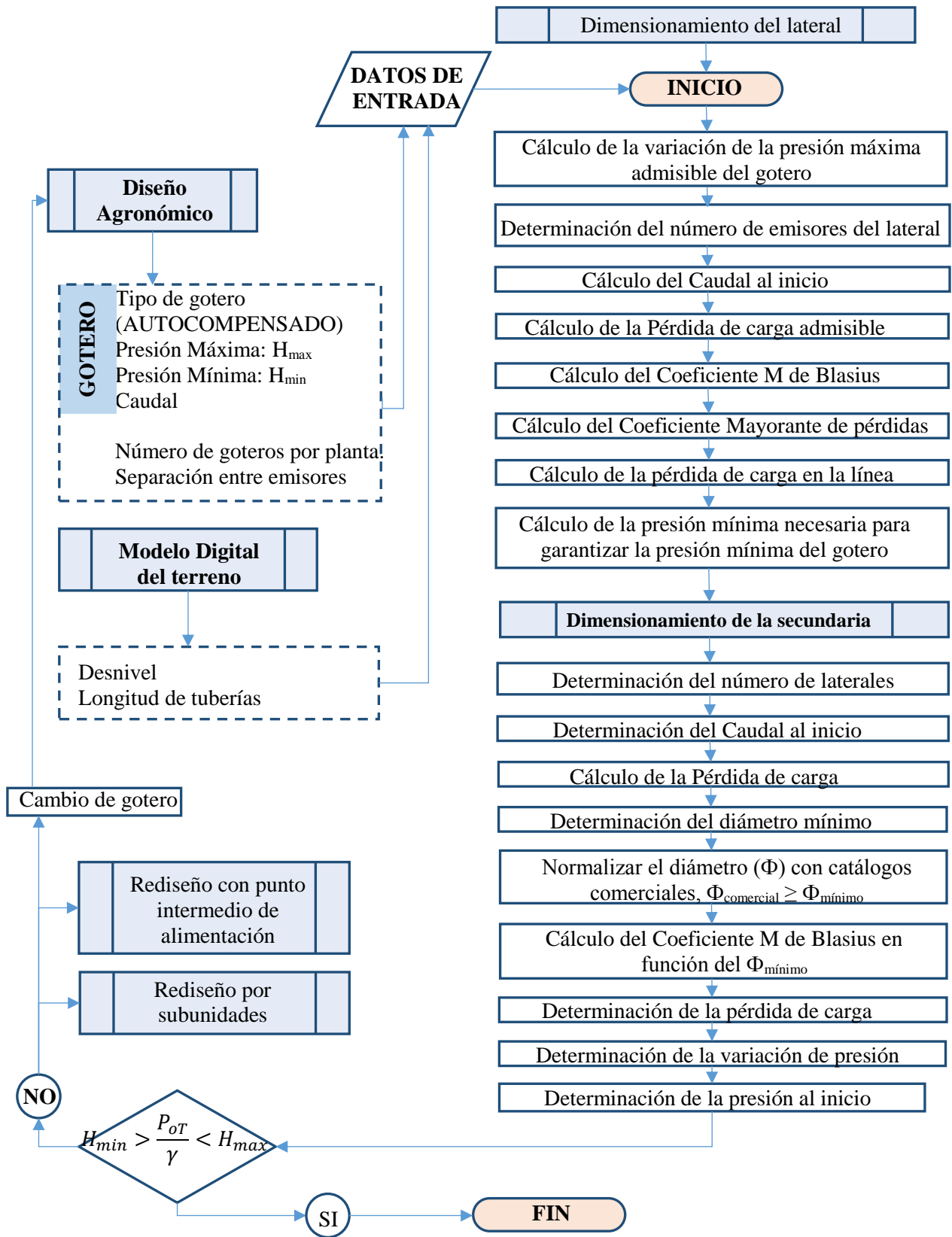


Figura 13. Procedimiento de cálculo del diseño hidráulico

Fuente: Adaptado de Arviza et al., (2016).

3.3.5 Instalación de los sistemas de riego

A continuación, se detalla el proceso mediante el cual se realizó la instalación de los sistemas de riego en el sector “La Dolorosa”.

3.3.5.1 Preparación del terreno.

Se procedió de la siguiente manera:

- Partiendo de las líneas trazadas previamente en el plano topográfico se realizó el señalamiento en el terreno con cinta y clinómetro.
- Se delimitó las líneas por donde se dará paso a la tubería mediante la utilización de estacas.
- Una vez delimitada la trayectoria de la red hidráulica se procede a desbrozar y a excavar las zanjas.

3.3.5.2 Instalación del sistema.

- Se armó el cabezal de riego y fertirriego por separado y se lo incorporo a las líneas de la tubería.
- Luego se instalaron las diferentes tuberías correspondientes para cada sistema con sus respectivos accesorios.
- El sistema de riego por goteo se lo instaló mediante curvas de nivel sobre la superficie, mientras que el de aspersion y microaspersion se lo realizó con tubería enterrada.

3.3.6 Evaluación del sistema de riego.

Una vez finalizada la instalación se debe realizar la evaluación para comprobar que el abastecimiento de la cantidad de agua y su uniformidad a los cultivos coincida con lo diseñado. Siguiendo la metodología de Fernández (2010) se efectuaron las siguientes evaluaciones:

3.3.6.1 Inspección de los componentes de la instalación.

Se realizará una inspección de todos los componentes del sistema (tuberías, accesorios, cabezales, entre otros):

- Se evidenciará que todos los aspersores, microaspersores y goteros sean idénticos de marca, modelo, tipo, alturas, que las tuberías cumplan con los diámetros, presiones, y accesorios especificados en el diseño.

- Se observará si hay presencia de fugas en los elementos de la instalación: tuberías, conexiones o válvulas de riego.

3.3.6.2 Evaluación del coeficiente de uniformidad de riego (CU).

Los pasos a seguir para la evaluación de la uniformidad de riego son:

3.3.6.2.1 Uniformidad de riego por microaspersión.

- Se eligió una zona representativa del sistema considerando características, disposición de riego y diámetro húmedo.
- Para la evaluación de la microaspersión, se evaluó la cama 5, 6 (zona A) y 4, 5 (zona B) por la semejanza en número de microaspersores **Figura 14**.

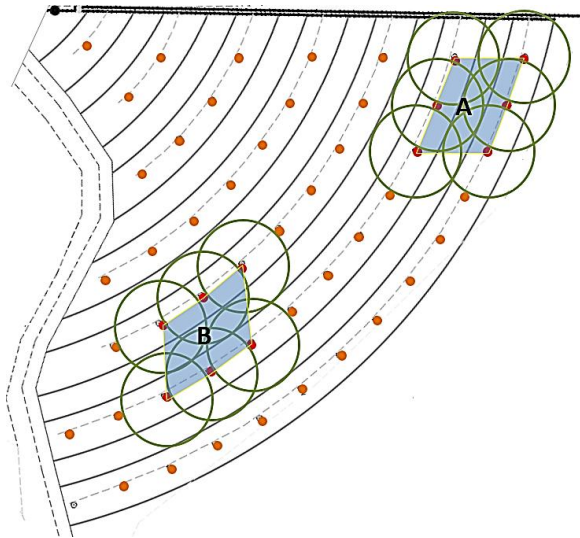


Figura 14. Zonas de evaluación del coeficiente de uniformidad en el sistema de riego por microaspersión.

- Antes de encender el sistema se colocó una red de vasos pluviométricos formando una malla de 1 x1 metros entre microaspersores.
- Se midió la pluviometría de 6 microaspersores en dos zonas designadas como zona A y B tal como se muestra en la figura 12.
- Se colocaron los vasos pluviométricos sobre el suelo e inmediatamente se abre la válvula que da inicio al riego. Mientras mayor sea el tiempo de la prueba los resultados serán más fiables. El tiempo duración de la prueba fue de 90 minutos.

- Al finalizar la prueba se midió el volumen recogido en los vasos pluviométricos y se midió la cantidad de agua con un vaso de precipitación.
- El método de cálculo para la determinación de uniformidad de aplicación del agua es el de Christiansen para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$CUc = \left(1 - \frac{\sum(x - \bar{x})}{n * \bar{x}}\right) * 100 \quad \text{Ecuación 60.}$$

3.3.6.2.2 Uniformidad de riego por goteo.

Para estimar el CU se siguió la metodología propuesta en el coeficiente de uniformidad de Christiansen citada por Sarango (2019). El procedimiento se detalla a continuación:

- Se seleccionó los laterales a evaluar, el primero ubicado al inicio y el segundo ubicado a 1/3, 3/4, y al final de la subunidad del sistema.
- De la misma manera se seleccionó los emisores a evaluar a lo largo del lateral.
- El tiempo de recolección del agua en los vasos muestreadores fue de 3 min.
- Se procedió a medir el volumen de agua con una probeta graduada.
- Para finalizar se calculó el coeficiente de uniformidad.
- Se aplicó la siguiente fórmula para determinar la eficiencia de distribución *CUc*

$$CUc = \left(1 - \frac{\sum(x - \bar{x})}{n * \bar{x}}\right) * 100$$

Donde:

Lp = Caudal promedio del 25% de emisores menor caudal (l/h)

\bar{x} = Media del caudal de los emisores (l/h)

3.3.7 Elaboración del manual.

A partir del diseño y de cada uno de los elementos que componen las instalaciones, se elaboró un manual básico con el objetivo de:

- Presentar el esquema en el que se hace constar sus componentes y características.
- Acciones recomendadas respecto a las tareas para la operación y puesta en funcionamiento.
- Tareas de mantenimiento requeridas por el sistema.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados de información primaria

Los resultados provenientes de información de campo y laboratorio se los mencionan a continuación:

4.1.1 Descripción de la fuente abastecedora de agua.

El terreno en cuestión es abastecido por un reservorio de $24 m^3$, este reservorio se encuentra en la parte alta del sector “La Dolorosa”, del mismo se desprende una tubería de 2 pulgadas de diámetro de la cual se derivan las conexiones de los diferentes usuarios, la junta de regantes estableció que la derivación se realice con toma de media pulgada en sus primeros 50 metros luego de lo cual se conecta a una manguera de 1 pulgada hasta llegar al respectivo terreno.

4.1.2 Caudal y presión disponible para el riego

Se obtuvo un caudal promedio, que llega a través, de una tubería de 1” de 0.66 l/s con un margen de error del 5% (**Anexo 1**) debido a factores climáticos como viento además de la precisión en los equipos de medición. La presión promedio es de 70 psi, equivalente a 4.8 bares.

Estos valores: 0.66 l/s y 70 psi, sirvieron de referencia para el posterior diseño de los sistemas de riego.

4.1.3 Determinación de la superficie de riego.

Una vez procesados los datos con la ayuda del software AutoCad Civil 3D se determinó que la superficie total a irrigar es de $3900 m^2$, el área se encuentra distribuida en 3 sistemas de riego:

- Aspersión con una superficie de $1010 m^2$, destinadas al cultivo de pasto.
- Microaspersión de $1960 m^2$ para el cultivo de manzana con una disposición de 5 m entre hileras y 4 m entre plantas para un total de 49 plantas
- Goteo de $930 m^2$ para cultivo de tomate de árbol con un total de 231 plantas.

Las distancias de siembra del tomate de árbol es de 2 x 2 m y corresponden a las disposiciones recomendadas en el Manual del cultivo de tomate de árbol, número 61 del INIAP (2004), en el que señala que distancias reducidas evitan el desgaje de ramas por peso de la fruta y

efectos del viento que son excesivos en el sitio. Por su parte para la siembra de plantas de manzana el propietario del predio, tenía definido un marco de siembra de 5 x 4 m. La distribución de las áreas de riego se las puede observar en la **Figura 15**.

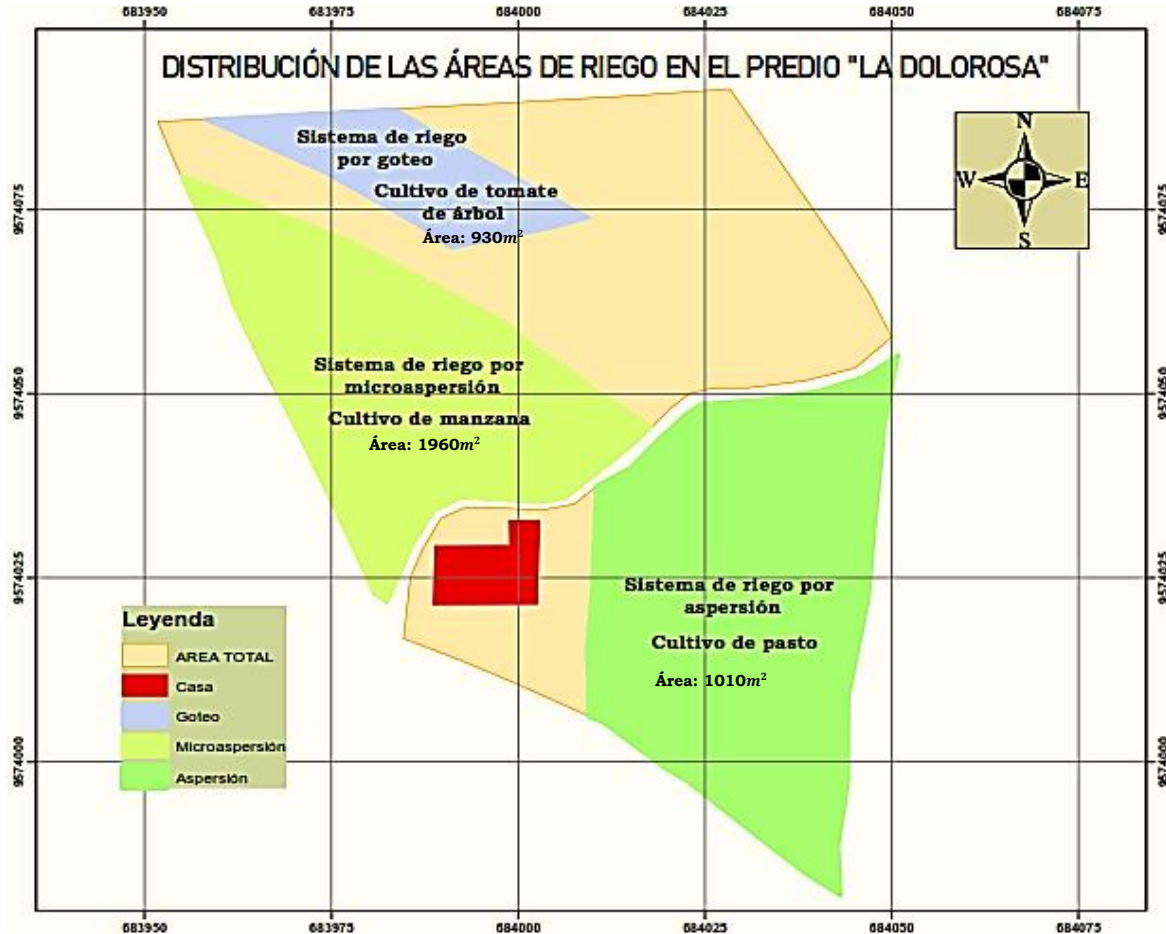


Figura 15. Distribución de las áreas de riego.
Fuente: Construido a partir del modelo digital del terreno.

4.1.4 Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.

Las proporciones adecuadas de agua, microorganismos, características de los minerales entre otros, son los que dan las condiciones adecuadas para que las plantas se desarrollen; por lo tanto, los resultados del laboratorio se muestran a continuación:

Tabla 5. Determinación de las constantes hidrofísicas y físicas de los suelos.

Horizonte	Saturación %	CC % (pF=2.52)	PMP % (pF= 4.2)	Da (g/cm ³)	Textura	Profundidad
AP	36.90	26.72	16.31	1.36	Franco Arcillo Arenoso	00-15
	33.03	25.60	16.13	1.43		
	32.74	26.49	17.65	1.41		
BW	29.99	28.14	19.05	1.51	Arcilloso	15-1.20
	28.79	26.22	20.86	1.56		
PROMEDIO	<u>32.29</u>	<u>26.63</u>	<u>18.00</u>	1.45		

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja

4.1.4.1 Constantes hidrofísicas.

En cuanto al contenido de agua en el suelo, el porcentaje de saturación obtenido en el laboratorio con un pF= 0 es de 32.29%, una vez que el drenaje ha terminado el máximo nivel de humedad que puede retener el suelo o capacidad de campo (CC) con pF= 2.52 es de 26.63%, Holzmann (2015) señala que cuando el suelo se encuentra a (CC) comienzan a aparecer los poros con aire, el cual crea un ambiente favorable para el crecimiento de los cultivos.

El agua restante corresponde al Punto de Marchitez Permanente (PMP) con un pF= 4.2 de 18% que queda retenida fuertemente, tanto así que las raíces no pueden vencer esta fuerza y su extracción será más difícil. Cadena (2017), indica que es importante conocer la capacidad de almacenamiento de agua del suelo con el fin de reponer la cantidad extraída por las plantas.

4.1.4.2 Propiedades físicas del suelo.

Cadena (2017) también menciona que las propiedades físicas son las relacionadas a la productividad porque modifican el movimiento y almacenamiento del agua, a **Figura 16** indica los porcentajes de fracciones del suelo estudiado:

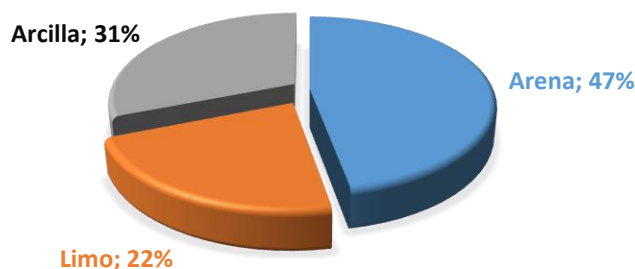


Figura 16. Relación de la clase textural y la proporción de la fracción de suelo.

Fuente: Laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Loja.

De acuerdo al diagrama triangular, los resultados obtenidos corresponden a un suelo Franco Arcillo Arenoso cuyos porcentajes son: arena 47%, arcilla 31% y limo 22%, correspondiente a suelos francos de textura moderadamente fina y una densidad aparente de 1.45 g/cm³. García (2013) indica que los suelos francos son los más importantes en el uso agrícola al retener mayor cantidad de agua disponible para la planta; sin embargo, son suelos ligeros, aireados y permeables.

4.1.4.3 Curva de retención de agua en el suelo.

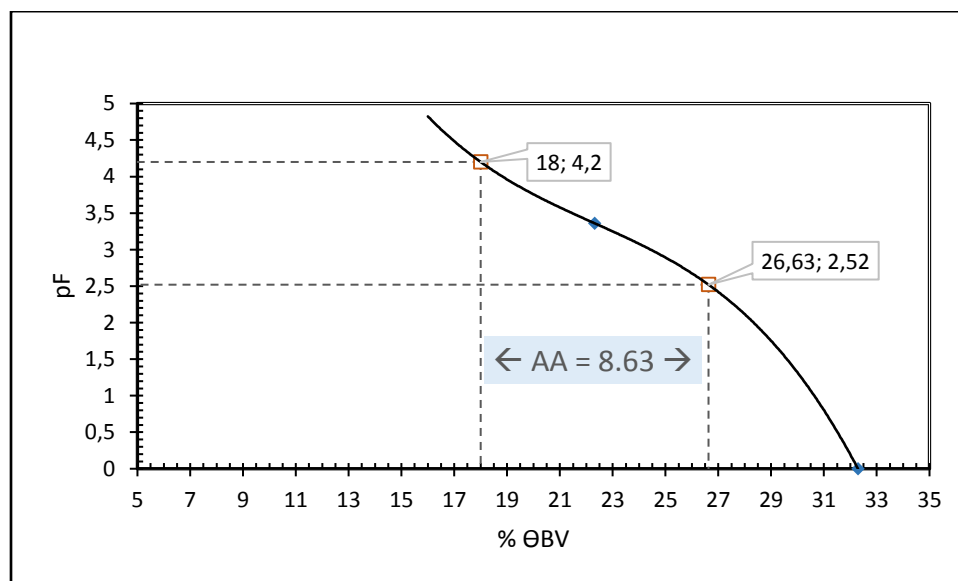


Figura 17. Curva de retención de agua en el suelo calculada para el predio "La Dolorosa".

Fuente: Construida a partir de datos obtenido en el Laboratorio.

Assan y Gorosito (2018) señalan que la diferencia entre el límite máximo (capacidad de campo) y el límite mínimo (Punto de marchitez permanente) corresponde al valor donde la planta

puede extraer el agua, por lo tanto, la disponibilidad o agua útil para la planta en el suelo del sector “La Dolorosa” es de 8.63%, este es un valor característico de un suelo Franco Arcillo Arenoso, se muestra en la **Figura 17**.

4.1.4.4 Determinación de la velocidad de infiltración del suelo.

El valor promedio de la velocidad de infiltración básica de las tres repeticiones realizadas en el cultivo de pasto por el método del doble anillo es de 6.70 mm/h, valor que pertenece a la categoría de velocidad de infiltración baja (**Anexo 2**). Cadena (2017) indica que los valores de velocidad de infiltración dependen de una serie de factores que disminuyen la capacidad de infiltración como son: el tipo de suelo, grado de humedad del suelo, presencia de sustancias coloidales cuya hidratación aumentan su tamaño y dificulta la infiltración del agua y por último la acción del hombre y los animales que compactan el suelo formando una capa dura.

4.1.5 Necesidades hídricas de los cultivos.

Para su determinación se obtuvieron los valores de:

4.1.5.1 Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).

Para su estimación se utilizó el método de Hargreaves simplificado una alternativa adecuada cuando se carece de información. A partir de los datos de temperatura y radiación solar de las estaciones meteorológicas se obtuvo los valores de ETo en mm/día representados a continuación:

Tabla 6. Valores de Eto en mm/día calculados a partir del método del gradiente altitudinal.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1.83	1.77	1.83	1.81	1.67	1.51	<u>1.46</u>	1.84	2.04	2.16	<u>2.20</u>	1.98

Fuente: Elaboración propia. Construida a partir de datos de temperatura y radiación solar - INAMHI.

Como resultado se observan valores de ETo entre 1.46 mm/día y 2.20 mm/día, de los cuales los valores más altos se encuentran en los meses de septiembre, octubre, y noviembre, observando una disminución a partir del mes de diciembre hasta agosto.

4.1.5.2 Coeficiente del cultivo (kc).

Debido a que el diseño de este sistema de riego está orientado a satisfacer las demandas hídricas del cultivo en la etapa de mayor necesidad de agua, el coeficiente del cultivo (kc)

corresponde al mayor valor mensual calculado. Por lo tanto, los resultados obtenidos de la relación de los valores de kc proporcionados por la FAO en las diferentes etapas fenológicas y las fechas de siembra, utilizadas en los diferentes sistemas son: para el tomate de árbol 1.20; cultivo de manzana 0.95 y pasto de 1.05. Los resultados gráficos para cada etapa fenológica de los cultivos se pueden apreciar en el **Anexo 3** en tanto que el resumen mensual se presentan en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Valores de kc de los cultivos (manzana, pasto, tomate de árbol).

CULTIVO	kc											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tomate de árbol	0.97	1.03	1.15	<u>1.20</u>	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	0.60	0.69	0.8
Manzana	0.95	0.95	0.95	<u>0.95</u>	0.88	0.75	0.75	0.75	0.75	0.45	0.64	0.85
Pasto	1.04	1.01	0.98	<u>1.05</u>	1.05	1.04	1.01	0.98	1.05	0.98	1.05	1.05

Fuente: Construida a partir de datos de (kc) tomados de FAO.

4.1.5.3 Evapotranspiración del cultivo (ETc).

Con los valores de ETo y kc se procedió a calcular la ETc, los resultados se recogen en la **Tabla 8**, los valores presentados se encuentran en mm/día y pertenecen al valor mensual medio.

La selección del valor de ETc corresponde al valor mensual más alto que se registró durante el año; por lo que, la ETc con mayor índice de requerimiento hídrico para los tres cultivos corresponde al mes de noviembre cuyos valores son: para el tomate de árbol 2.65 mm/día, manzana 2.09 mm/día y pasto 2.31 mm/día.

Tabla 8. Evapotranspiración de los cultivos calculado para el predio "La Dolorosa".

CULTIVO	ETC (mm/día)											
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tomate de árbol	2.19	2.12	2.19	2.18	2.01	1.81	1.75	2.21	2.44	2.59	<u>2.65</u>	2.37
Manzana	1.73	1.68	1.74	1.72	1.59	1.43	1.39	1.75	1.93	2.05	<u>2.09</u>	1.88
Pasto	1.92	1.85	1.92	1.9	1.76	1.58	1.53	1.93	2.14	2.27	<u>2.31</u>	2.07

Fuente: Construida a partir de datos calculados de (kc) y ETo para el predio "La Dolorosa".

4.1.5.4 Precipitación efectiva (P_e)

Nosetto y Jobbagy (2014) mencionan que la precipitación efectiva es el principal contribuyente para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, Martínez (2014) indica que para el diseño de sistemas de riego es importante conocer su valor como la parte de precipitación efectivamente almacenada y retenida por la zona radicular a profundidad aprovechable de la planta, este valor se lo multiplica por el factor de corrección de 0.75. El cálculo se realizó de acuerdo al método U. S National Weather Service y USDA con el cual se construyó la siguiente tabla de precipitación efectiva para el sector “La Dolorosa”. Véase también **Anexo 3 - Tabla 19**:

Tabla 9. Precipitación efectiva determinada por el método de U.S National Weather Service de la USDA.

Precipitación efectiva													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	SUM
mm/mes	64.2	96.2	101.7	78.9	43.2	34.4	28.3	19.7	21.2	36.8	44.9	60.2	629.6
mm/día	2.07	3.44	3.28	2.63	1.39	1.15	0.91	0.63	0.71	1.19	1.50	1.94	20.84

Fuente: Construida a partir de datos de precipitaciones medias proporcionados por el INAMHI.

Anualmente, la precipitación efectiva (P_e) lluvia útil o aprovechable para las plantas en el sector “La Dolorosa” es de 629.6 mm, siendo los meses de febrero y marzo los meses con mayor P_e con 96.2 mm y 101.7 mm respectivamente. Por el contrario, el mes con más baja P_e corresponde al mes de septiembre con 19.7 mm.

4.1.5.5 Requerimientos de riego.

Tabla 10. Requerimientos hídricos de los cultivos en (mm/día).

Requerimiento hídrico (mm/día)													
CULTIVO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
Tomate de árbol	0.12	-	-	-	0.62	0.66	0.84	1.58	1.74	1.40	1.15	0.43	
Manzana	-	-	-	-	0.20	0.28	0.48	1.12	1.23	0.86	0.60	-0.06	
Pasto	-	-	-	-	0.37	0.43	0.62	1.30	1.43	1.08	0.82	0.13	

Gómez, Muñoz y Rodríguez (2015) indican que la determinación del balance hídrico permite conocer la cantidad de agua, la temporalidad, y el sistema a emplear para ejecutar el riego. De acuerdo al estudio realizado en el sitio en cuestión, el mes de mayor requerimiento de agua es septiembre, siendo para el tomate de árbol 1.74 mm/día, manzana 1.23 mm/día y pasto 1.43 mm/día. Sin embargo, en los meses de enero a abril en el cultivo de pasto, incluyendo el mes de diciembre para el de manzana no se necesita riego, mientras que el cultivo de tomate de árbol si lo necesita en el mes de enero.

4.1.5.6 Necesidades brutas (N_b) y Caudal ficticio continuo (q_c)

A partir del balance hídrico se consideró un porcentaje de eficiencia del sistema con valores propuestos por MINAGRI (2015) del 85% para la aspersión y microaspersión mientras que para el goteo se consideró la eficiencia de aplicación de un 90% valores que permitieron calcular la cantidad real de aplicación de agua para satisfacer las necesidades netas de riego, siendo el mes más alto para los tres cultivos septiembre correspondientes a: necesidades brutas de la manzana de 1.44 mm/día, pasto 1.68 mm/día y tomate de árbol 1.93 mm/día mientras que el caudal continuo es de 0.17, 0.19 y 0.22 l/s/ha respectivamente. Véase **Anexo 4**.

4.2 Diseño agronómico del sistema de riego por aspersión y microaspersión.

En el **Anexo 5, Tabla 23 y Tabla 24** se presenta la información general que se utilizó para el diseño de los sistemas de riego, se fija un porcentaje de agotamiento del 50% para los dos diseños, profundidad radicular efectiva de 42 cm para el cultivo de pasto; mientras que, para el cultivo de manzana, Ulloa (2012) indica que la profundidad radicular se encuentra entre 0.8 – 1.2 m de profundidad. Por esta razón se fijó una profundidad efectiva de 0.70 m.

4.2.1 Lámina de agua aprovechable (LAA).

El valor de la LAA es de 43.82 mm para el pasto mientras que para la manzana es de 26.29 mm.

Cultivo de manzana:

$$LAA = f * \frac{(CC - PMP)}{100} * da * Prof_{efect}$$

$$LAA = 43.82 \text{ mm}$$

Aplicando la misma ecuación se determina la LAA al cultivo de pasto

$$LAA = 26.29 \text{ mm}$$

4.2.2 Frecuencia de riego Fr .

El número de días que transcurre entre riegos para el cultivo de manzana es de 30 días y para el pasto 16 días:

Cultivo de manzana:

$$Fr = \frac{ln}{Nr}$$

$$Fr = \frac{43.82 \text{ mm}}{1.44 \text{ mm/día}}$$

$$Fr = 30 \text{ días}$$

Cultivo de pasto

$$Fr = 16 \text{ días}$$

4.2.3 Lámina de agua aprovechable ajustada ($LAA_{4\text{días}}$)

Puesto que el agricultor no considera los días a regar sino los días en los que le abastecen de agua para riego, en este caso los turnos de riego para el agricultor son cada 4 días, se calcula una LAA para cuatro días teniendo así una nueva $LAA_{4\text{días}}$.

Aplicando los cálculos respectivos se tiene que para el cultivo de manzana 5.76 mm y pasto de 6.72 mm valores que posteriormente se aplicará para los tiempos de riego (Tr),

Cultivo de manzana:

$$LAA_{4\text{días}} = ETc * Fr_j$$

$$LAA_{4\text{días}} = 1.44 \text{ mm/día} * 4 \text{ días}$$

$$LAA_{4\text{días}} = 5.76 \text{ mm}$$

Cultivo de pasto:

$$LAA_{4\text{días}} = 6.72 \text{ mm}$$

4.2.4 Necesidades brutas ajustadas (Nb_j).

Una vez determinada la nueva $LAA_4 \text{ días}$ se determinó la cantidad real de agua a aplicarse en los cultivos obteniendo 6.77 mm para la manzana y 7.91 mm para el cultivo de pasto

Cultivo de manzana:

$$Nb_j = \frac{LAA_4 \text{ días}}{Ea}$$

$$Nb_j = \frac{5.76 \text{ mm}}{0.85}$$

$$Nb_j = 6.77 \text{ mm}$$

Cultivo de pasto

$$Nb_j = 7.91 \text{ mm}$$

4.2.5 Selección del aspersor y microaspersor.

Para el cultivo de manzana se seleccionó el microaspersor en función del caudal, del diámetro húmedo y otras prestaciones detalladas en el catálogo comercial que se detallan a continuación:



Marca	AZUDraintec
Color	Azul
Boquilla	1.10 mm
Presión	1.5 - 2.0 bares
<u>Caudal</u>	<u>49 - 57 (l/h)</u>
Bailarinas	Largo alcance
<u>Diámetro húmedo</u>	<u>7 m</u>
Norma	ISO 7749 - ISO15886
Diseño	Estaca
Diámetro Tubo	16 mm
<u>Dispuesto a 20 cm del nivel del suelo</u>	

Para el cultivo de pasto se seleccionó el aspersor con las siguientes características técnicas:

	Marca	5022 SD M 1/2"
	Color	Rojo
	Boquilla	3.5 x 2.5 mm
	Presión	3 bares
	<u>Caudal</u>	<u>590 l/h</u>
	<u>Diámetro húmedo</u>	<u>22 m</u>
		SD Súper Difusor
	Norma	ISO 900 1: 2088
		Dispuesto a 1.20 cm del nivel del suelo

4.2.5.1 Distribución de agua sobre el suelo.

En la zona de estudio se encuentran velocidades de viento de 4 m/s (**Tabla 25**) en el mes de agosto, por lo que se redujo el diámetro efectivo del aspersor y microaspersor el 12% y un 60% por la disposición de cuadrado con el fin de obtener mayor uniformidad y evitar problemas de pérdidas de agua por la acción del viento. De acuerdo a estas reducciones el nuevo diámetro húmedo de traslape es 12 m para el pasto mientras que para el cultivo de manzana es de 3.8 m, se pueden observar en el mapa del **Anexo 20**.

4.2.5.2 Intensidad de precipitación (I_p).

Para establecer la intensidad de precipitación de los emisores se realizaron los siguientes cálculos:

$$I_p \leq VIB$$

Cultivo de manzana:

$$I_p = \frac{qa}{S_a * S_l}$$

$$I_p = \frac{49 \text{ l/h}}{3.8 \text{ m} * 3.8 \text{ m}}$$

$$I_p = 3.4 \text{ mm/h}$$

Cultivo de pasto:

$$I_p = 4.37 \text{ mm/h}$$

Se cumple con el criterio de diseño siendo 3.4 mm/h y 4.37 mm/h menores a 6.7 mm/h valor de la velocidad de infiltración básica calculada anteriormente. Hay que considerar que el caudal es muy limitado por lo cual no se pudo elegir un aspersor de mayor diámetro húmedo y presión.

4.2.6 Tiempo de riego.

El tiempo de riego para el cultivo de manzana y pasto es de dos horas. Es importante mencionar que el cultivo de pasto se regará en dos turnos y el de manzana en uno.

Cultivo de manzana:

$$Tr = \frac{Nb_j}{IP}$$

$$Tr = \frac{6.77 \text{ mm}}{3.4 \text{ mm/h}}$$

$$Tr = 2 \text{ horas}$$

Cultivo de pasto

$$Tr = 2 \text{ horas}$$

4.2.7 Número de aspersores y microaspersores por lateral (NAL).

Para el cultivo de manzana el lateral más largo es de 61 m con 16 microaspersores, siendo un total de 49 microaspersores que se encontrarán en toda el área de riego para el cultivo de manzana.

$$NAL = \frac{LTL}{Sa}$$

$$NAL = \frac{61 \text{ m}}{3.8 \text{ m}}$$

$$NAL = 16 \text{ microaspersores}$$

Para el cultivo de pasto el lateral más largo es de 51 m con un número de 4 aspersores y un total de 7 aspersores en toda la zona.

$$NAL = 4 \text{ aspersores}$$

4.2.8 Longitud del lateral.

De acuerdo a la disposición Sa/2 se tiene una longitud del lateral de 42 m para el lateral más crítico del cultivo de manzana y para el pasto de 58.9 m:

Cultivo de manzana:

$$LL = Sa (n - 0.5)$$

$$Ip = 12x(4 - 0.5)$$

$$Ip = 42 \text{ m}$$

Cultivo de pasto:

$$LL = 58.9 \text{ m}$$

4.2.9 Caudal del lateral (QL).

El caudal de los laterales de mayor longitud para el cultivo de manzana fue de 0.22 l/s y el del cultivo de pasto de 0.65 l/s.

Cultivo de manzana:

$$QL = qaxNAL$$

$$QL = 49 \text{ l/h} \times 16$$

$$QL = 784 \text{ l/h}$$

$$QL = 0.22 \text{ l/s}$$

Cultivo de pasto:

$$QL = 2360 \text{ l/h}$$

$$QL = 0.65 \text{ l/s}$$

4.2.10 Número de laterales en la tubería secundaria.

Cultivo de manzana: Para conocer el número de laterales se contó el número de camas siendo un total de 7.

Cultivo de pasto: la longitud que está destinada para la tubería secundaria del sistema de microaspersión es de 29 m, obteniéndose 2 laterales.

$$NLS = \frac{LTS}{SL} * n$$

$$NLS = 2 \text{ laterales}$$

4.2.11 Caudal de la tubería secundaria (Qs).

Cultivo de manzana: tiene un total de 49 micraoaspersores regándose todo el sector al mismo tiempo, dando un caudal total de 0.66 l/s representado en el **Anexo 5 - Tabla 26**, a continuación se presenta el caudal del lateral más crítico.

$$Q_s = QL * NLS$$

$$Q_s = 49 \text{ l/h} * 16 \text{ microaspersores}$$

$$Q_s = 784 \text{ l/h}$$

$$Q_s = 0.22 \text{ l/s}$$

Cultivo de pasto: El sector de la aspersión se va a regar en dos turnos, siendo: el primero lateral con 4 aspersores y un caudal de 0.65 l/s y el segundo con 3 aspersores y un caudal de 0.49 l/s. **Anexo 5 - Tabla 27** a continuación se presenta el caudal del lateral más crítico.

$$Q_s = 2360 \text{ l/h}$$

$$Q_s = 0.66 \text{ l/s}$$

4.3 Diseño agronómico del sistema de riego por goteo.

Las Necesidades brutas para el tomate de árbol son de 1.93 mm/día para el mes de septiembre, valor con el cual partirá el diseño, el **Anexo 6 - Tabla 28** indica los datos generales que se emplearon. La profundidad de la raíz de 1.20 m se la tomó a partir de los valores propuestos por

Ulloa (2012), y los valores de CeI y CEES del análisis de calidad del agua. A continuación, se presenta el desarrollo del diseño:

4.3.1 Necesidades de agua del cultivo.

Las correcciones se las realizó a partir del valor tomado de las necesidades brutas presentado en la **Tabla 21**:

Correcciones por efecto de localización (Kl)

A efectos prácticos para las correcciones por (Kl) se considera la fracción del área sombreada con respecto a la superficie total proyectada de la planta, donde el diámetro de la copa del tomate de árbol es de 1.5 m.

$$A = \frac{\pi D m^2}{4(a * b)}$$

$$A = \frac{3.1416 \times (1.5m)^2}{4(2 \times 2)}$$

$$A = 0.44 m^2$$

Al valor de A calculado se lo aplica en las siguientes fórmulas:

$$Aljibury \Rightarrow Kl = 1,34 A \qquad Kl = 0.59$$

$$Decroix \Rightarrow Kl = 0,1 + A \qquad Kl = 0.542$$

$$Hoare \Rightarrow Kl = A + 0,5(1 - A) \qquad Kl = 0.721$$

$$Keller \Rightarrow Kl = A + 0,15(1 - A) \qquad Kl = 0.526$$

De estos valores se desprecia los dos extremos y se promedia los medios dando como resultado un Kl de 0.631.

Correcciones por condiciones locales

Debido a que la ETo equivale al valor medio del mes estudiado debe elevarse con un coeficiente de mayoración, para el presente diseño se utilizó $Kv = 1.2$ a partir del criterio de Hernández Abreu y por advección de acuerdo al tamaño de la zona que se va a regar siendo así para una superficie de $930 m^2$ un $Kv = 1.16$.

Una vez obtenidos los valores de corrección se los multiplica por la ETC donde las necesidades de agua para la planta son:

$$E_{trl} = ETC \times K_l \times K_v \times K_a$$

$$E_{trl} = 1.70 \text{ mm/dia}$$

Necesidades netas de riego (Nn)

Es posible que en el mes de máximas necesidades hídricas se produzca una cierta lluvia que dé lugar a precipitación efectiva; sin embargo, esta no debe considerarse ya que es muy improbable que entre los intervalos de dos riegos ocurra una, por lo cual $Pe = 0$, también es necesario indicar que el sector a regar no se encuentra cerca de una capa freática o fuente de agua subterránea siendo $Gw = 0$, la variación de almacenamiento de agua Δw en el suelo no se la considera debido a que los riegos localizados pretenden mantener en cero el potencial hídrico del suelo mediante la reposición del agua extraída. Por lo tanto $Nn = E_{trl}$.

Necesidades totales de riego (Nt)

En riegos localizados se considera las pérdidas por percolación, ya que las pérdidas por escorrentía se presentan solo en casos extremos y de manejo deficiente por lo que no se los consideró en este diseño.

Pérdidas por percolación (K) se las considera debido a que el agua aplicada sobre la superficie del suelo se infiltra hacia capas más profundas, en casos de que la capacidad de retención es menor que la cantidad de agua aplicada ésta se infiltrará hacia zonas en las que la planta no podrá acceder y se pierde el agua siendo $k = 0.1$

Las necesidades de lavado LR se deben tomar en cuenta para mantener la salinidad del suelo a un nivel no perjudicial, el cálculo se realiza aplicando la ecuación:

$$LR = \frac{CEi}{2CEs * f}$$

$$LR = \frac{0.05}{2(12) * f}$$

$$LR = 0.002$$

Siendo $LR < k$ por lo que, se tomó el mayor valor para determinar las necesidades totales. Si las pérdidas por percolación son mayores provocarán un lavado superior al necesario, por lo tanto, el nivel de la salinidad se mantendrá por debajo del mínimo.

$$NT = \frac{Nn}{Cu(1 - k)}$$

$$NT = \frac{1.70 \text{ mm/dia}}{0.9 \times (1 - 0.1)}$$

$$NT = 2.1 \text{ mm/dia}$$

Necesidades diarias por árbol y Caudal ficticio continuo Q_c

De acuerdo al marco de riego 2 x 2 y a las necesidades totales NT se tiene:

$$N_{diarias} = NT * a * b$$

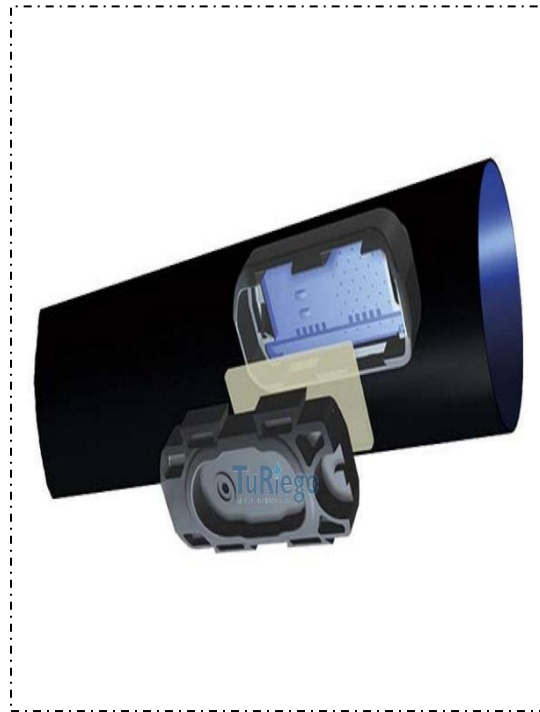
$$N_{diarias} = 2.1 \frac{\text{mm}}{\text{dia}} * 2m * 2m$$

$$N_{diarias} = 8.4 \frac{l}{\text{arbol}} \text{ dia}$$

Por lo tanto el $Q_c = 0.9693 \text{ l/s/ha}$

4.3.2 Parámetros de riego

Antes de continuar con los parámetros de riego, se seleccionó el gotero cuyas características son las siguientes:



Marca	DRIPNET PC 12125
Gotero Autocompensado	
<u>Presión de trabajo</u>	<u>0.4 - 2.5 bar</u>
Dimensiones, pasos de agua, espesor, prof de longitud (mm x mm x mm)	0.61 x 0.60 x 8
Área de filtración	39 mm ²
<u>Caudal</u>	<u>1 l/h</u>
Constante (k)	1
Exponente (x)	0
Norma	ISO 9261
Espaciamiento entre goteros	0.30 m
Diámetro interno tubería	11.8 mm

Una vez seleccionado el gotero se continua con el cálculo.

4.3.2.1 Área mojada por emisor.

Para determinar el área mojada por emisor resulta complicado debido a que en las dimensiones del bulbo húmedo intervienen factores como la textura o volumen de riego, por lo cual se calculó mediante el empleo de fórmulas empíricas siendo el valor del diámetro húmedo de acuerdo a la textura de 0.42 m y el área mojada por emisor de 0.14 m².

$$A_{me} = \frac{\pi * Dm^2}{4}$$

$$A_{me} = \frac{3.1416 * (0.42m)^2}{4}$$

$$A_{me} = 0.14 m^2$$

4.3.2.2 Separación de emisores.

La separación máxima de los emisores es de 0.34 m y la mínima de 0.32 m, con un radio de bulbo de 0.21 m, cuyo promedio es de 0.33 m, hay que considerar la separación que presentan

los catálogos por lo que el valor que más se aproxima es el de 0.30 valor utilizado para los cálculos. Con la separación de emisores se obtiene la superficie mojada por cada emisor igual a 1 m^2 .

4.3.2.3 Número de emisores por planta.

Las necesidades totales de la planta son de 2.1 mm/día que equivale a 8.4 l/planta al día y el número de emisores para satisfacer estas necesidades es de 10 u, con un caudal de 1 l/h.

4.3.2.4 Porcentaje de superficie mojada.

Una de las principales características del riego por goteo es la aplicación del agua solamente a la parte del suelo que riega el emisor, con el número de emisores (10 u), el área mojada (0.14 m^2) y su disposición (2 x 2 m) se obtuvo un nuevo porcentaje de suelo mojado de 35%. Ulloa (2012) indica que este valor debe ser mayor al 33% para el desarrollo radicular de la planta y es un indicador que confirma que el espaciamiento del emisor y número de emisores son óptimos para el cultivo.

4.3.3 Lámina edáfica.

Al igual que en los sistemas de riego por aspersión y microaspersión se determinó la lámina edáfica con un porcentaje de agotamiento del 50% teniendo así una lámina de 1.84 cm equivalente a 18.4 mm; sin embargo, hay que considerar que la frecuencia de riego es cada 4 días obteniendo la nueva lámina de 8.37 mm.

4.3.4 Volumen de agua por emisor.

El volumen de agua que satisface las necesidades hídricas totales de la planta de tomate de árbol es de 3.3 litros/emisor

$$Ve = \frac{NT * I}{e}$$

$$Ve = \frac{8.37 \text{ l/árbol /día} * 4}{10 u}$$

$$Ve = 3.33 \text{ litros/emisor}$$

4.3.5 Tiempo de riego.

El tiempo necesario para reponer el agua evapotranspirada por el cultivo de tomate de árbol es de 0.8 horas equivalente a una hora al día.

4.4 Diseño hidráulico del sistema de riego por microaspersión.

Para el cultivo de manzana se trabajó con la presión de servicio del microaspersor de 1.5 bares correspondiente a 15 m, teniendo en consideración además que las pérdidas no excedan el 20% de la presión de servicio del microaspersor.

$$hf \leq 3 \text{ m}$$

La secuencia de cálculos con las ecuaciones empleadas para el diseño hidráulico del lateral se las pueden revisar en el **Anexo 7** y el **Anexo 8** para el cálculo de pérdidas de presión en la tubería.

4.4.1 Pérdidas de carga en la tubería lateral (hf).

Para calcular las pérdidas se seleccionó el lateral más largo, tubería de polietileno de diámetro nominal de 16 mm.

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0.106 \frac{m}{m} * 0.37 \text{ m} * 60.8 \text{ m}$$

$$hf = 2.4 \text{ m}$$

Para la tubería lateral las pérdidas de carga son de 2.4 m < 3m.

4.4.1.1 Velocidad permisible en la tubería lateral.

El rango sugerido por Alfaro y Nomberto (2015) se encuentra entre 0.6 m/s y 2.0 m/s, la velocidad para el sistema es de 1.07 m/s que se encuentra dentro del rango.

4.4.2 Presión en la tubería lateral.

Se determinó las presiones que se producen en la tubería del lateral que se encuentra en disposición horizontal, la presión al origen fue de 17.09 m y al final del lateral de 14.37 m. La presión del primer microaspersor fue de 16.89 m y la del último de 14.37 m. En el cálculo se

consideró también el criterio del 20% de las pérdidas admisibles. Por lo cual la diferencia de presiones desde el origen al final del lateral es de 2.52 m pérdidas menores o iguales a 3m de variación de presión admitida.

4.4.3 Tubería secundaria del microaspersor.

La tubería seleccionada es de PVC con diámetro nominal de 32 mm, esta se encuentra entre la cota 2655 – 2651m.s.n.m. con disposición descendente. Las pérdidas totales son de 13.71 m y su velocidad es de 1.01 m/s que se encuentra en el rango admisible **Anexo 9**.

4.5 Diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión.

Para el cultivo de pasto se trabajó con la presión de servicio del aspersor de 3 bares correspondiente a 30 m considerando el 20% donde las pérdidas no deben superar la variación de presión admisible:

$$hf \leq 6 \text{ m}$$

4.5.1 Pérdidas de carga tubería lateral (hf).

Para calcular las pérdidas se seleccionó el lateral más largo, TUBOFLEX de 1", diámetro nominal de 32 mm y presión de 1.25 MPa:

$$hf = J * l * F$$

$$hf = 0.04 \frac{m}{m} * 0.42 \text{ m} * 48 \text{ m}$$

$$hf = 0.81 \text{ m}$$

El rango sugerido por Alfaro y Nomberto (2015) se encuentra entre 0.6 m/s y 2.0 m/s, la velocidad para el sistema es de 0.97 m/s que se encuentra dentro del rango.

La secuencia de cálculos con las ecuaciones empleadas se las pueden revisar en el **Anexo 10** para diseño hidráulico del lateral y en el **Anexo 12** para el cálculo de pérdidas de presión en la tubería.

4.5.2 Presión en la tubería lateral aspersión (descendente)

En el **Anexo 22** se puede apreciar el gráfico en el que se evidencian las presiones que se producen en la tubería lateral, se encuentra en disposición descendente desde la cota 2641 m.s.n.m. hasta la cota 2638.5 m.s.n.m. con un desnivel de 2.5 m.

Se determinó la presión al inicio del lateral de 30.60 m y al final del lateral 31.04 m, conjuntamente con las presiones del primer aspersor 29.40 m, presión al último aspersor de 29.06 m. Por lo cual la diferencia de presiones desde el origen al final del lateral es de 0.34 m pérdidas menores o iguales a 6m de presión permitida.

4.5.3 Tubería secundaria del aspersor.

La tubería secundaria se encuentra entre la cota 2654 – 2641 m.s.n.m. con disposición descendente Las pérdidas totales son de 21.36 m y su velocidad es de 0.97 m/s que se encuentra en el rango admisible. El proceso de cálculo se lo encuentra en el **Anexo 12**.

4.6 Diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.

Los datos de inicio para el dimensionamiento del sistema de riego por goteo son:

El $H_{\max} = 25\text{m}$, el $H_{\min}=4\text{m}$, caudal de 1 l/h, número de goteros por planta (10 u) información proporcionada por el fabricante y la separación de emisores de 0.30m.

4.6.1 Dimensionado de la tubería lateral goteo.

En el **Anexo 13** se presentan las tablas de resultados y valores que sirvieron para dimensionar el lateral. Siendo así:

La variación de presión en la subunidad fue de 21 m, el coeficiente de Blasius se lo obtuvo de datos tabulados de bibliografía, para una temperatura menor de 20°C cuyo coeficiente es de 0.466, la longitud del lateral fue de 42 m. Para el cálculo de la longitud equivalente (L_{eq}) se consideró que el gotero ya está incrustado en la tubería por lo que tenemos un diámetro de referencia y que para la línea lateral en frutales se debe conseguir una distribución de los puntos de goteo que se pueda ampliar conforme la planta va creciendo por lo cual para este diseño se optó por utilizar la distribución en anillos o comúnmente llamada “rabo de coche”; en esta disposición,

cada uno de ellos se considera un emisor por lo tanto, el número de emisores es 21 en el lateral más crítico. Los cálculos arrojaron un valor de $Le = 3.99$ m.

$$Leq = fe \times \text{número de emisores}$$

$$Leq = 0.19 \times 21$$

$$Leq = 3.99$$

El diseño se lo efectuó en curva de nivel, por lo que el porcentaje de pendiente es 0% los resultados son los siguientes:

El número de anillos por lateral es de 21 unidades con un caudal de inicio de 210 l/h. Para el coeficiente de Cristhiansen se empleó la **Ecuación 45** de salidas múltiples resultando un valor de 0.466, en tanto que para el cálculo del coeficiente M de Blasius en el lateral fue igual a 0.000002 y el coeficiente mayorante fue de 2.99 que considera la distancia de siembra y la longitud equivalente.

Las pérdidas de carga en el lateral son de 1.09 m, y la presión al inicio del lateral es de 5.09 m cumpliéndose el criterio de diseño, en el cual la presión al origen del lateral debe ser mayor del H_{min} del gotero esto es: $5.09 \text{ m} > 4 \text{ m}$ al. Con estos antecedentes calculados se concluye que es aceptable la tubería seleccionada.

4.6.2 Dimensionado de la tubería secundaria.

La tubería secundaria se la dividió en dos secciones la primera sección es el tramo en la que se encuentran los laterales mientras que la segunda constituye el tramo desde el cabezal de riego hasta el inicio de la sección 1.

Los resultados que se obtuvo en el dimensionamiento en la tubería secundaria se los explica en detalle en el **Anexo 14 - Tabla 33**.

Sección 1

Para su estimación se contó con información de la longitud de la tubería secundaria 22 m, número de laterales (11), distancia entre laterales (2m), desnivel de la terciaria ubicada en forma descendente -29%, y un coeficiente mayorante de 1.75 citado por Talens (2017). Dando los siguientes resultados:

El número de laterales en la terciaria es de 11 el caudal que se necesario calculado para regar esta sección, todo el sistema de riego por goteo fue de 2310 l/h equivalente a 0.64 l/s por lo cual el sistema de riego por goteo se regara en una sola tanda, las pérdidas de carga de la secundaria son de 26.29 m y el coeficiente de Christiansen determinado fue de 0.41.

De acuerdo a los parámetros anteriores el diámetro mínimo calculado de la tubería secundaria fue de 13.26 mm en este contexto el diámetro comercial que mejor se ajusta es el de 21 mm de diámetro nominal, con la nueva selección y realizado los cálculos se tiene que el coeficiente M es de 5.65 cuyas pérdidas de carga secundaria fueron de 6.87 m y una variación de presión de 0.49 m, obteniendo una presión de inicio del lateral de 5.57 m > 4 m al Hmin. Criterio que decide que la selección de la tubería es aceptable.

Sección 2

Para el cálculo de la sección 2 se consideró una tubería de PVC de 32 mm, las pérdidas de carga calculada a partir de la siguiente ecuación fueron de 0.66 m.

$$hf_t = Hf + \frac{P_o}{\gamma} + hs + \Delta Z$$
$$hf_t = 2.37 m + 5.09 m + 0.20 - 7 m$$
$$hf_t = 0.66 m$$

4.7 Instalación y descripción de los componentes del sistema de riego.

4.7.1 Preparación del terreno.

Las primeras labores realizadas en la preparación del terreno incluyeron la medición y señalización con estacas del sitio de excavación, estas indican la ubicación de la tubería principal y secundaria



Figura 18. Señalización de la ubicación de la tubería en campo.

Para el cultivo de manzana, el terreno se adecuó con el trazado de camas a curvas de nivel, con dimensiones de: tres metros de ancho y dos metros de camino.



Figura 19. Preparación del terreno para la instalación del sistema de riego por microaspersión

Se realizó la excavación de las zanjas de 0.3 m de alto y 0.2 m de ancho que posteriormente fue rellenada con el mismo material extraído, dejando la tubería principal y laterales de riego por aspersión y microaspersión enterrada.



Figura 20. Excavación de zanjas y preparación del terreno.

4.7.2 Instalación del cabezal de riego.

Se instaló el cabezal de riego, montado sobre el tubo de PVC; el cabezal inicia con el sistema de filtrado el que está constituido por un adaptador macho flex de 1" sigue con una válvula de compuerta de 1", reducción PVC de 32 x 50 mm adaptadores hembra de PVC 1 a 1/2" continua con el filtro de anillas de 1 1/2", el tubo empleado para la unión es de PVC DE 1" para luego dar paso al fertirriego.

Para el sistema de Fertirriego se armó una segunda torre que consta de adaptadores, unión universal y reducción de presión de 1", para acoplar con uniones de 1/2" y un Venturi de 1/2" entre otros accesorios que sirvieron de acople y uniones



Figura 21. Cabezal de riego: sistema de filtrado y fertirrigación.

4.7.3 Tubería principal.

Para la tubería secundaria de los sistemas de riego se utilizó tubería de PVC de 32 mm, tee de 32 x 32 mm, válvulas de bola de 32 mm, codos de 32 mm por 45°, codos de 30 mm por 90°, adaptadores machos de 32 mm por 1", tapón roscado hembra para el final de la tubería.



Figura 22. Instalación de la tubería principal.

4.7.4 Instalación sistema de riego por aspersión, microaspersión y goteo.

Para el sistema de riego por aspersión, se instalaron laterales de PE de 32 mm, para el porta aspersor se instaló un neplo de 1/2 x 1.2 m de alto, la tubería se la enterró para que el sistema quede fijo, para la unión de los neplos con la tubería lateral se utilizaron collarines de 32 a 1/2", una vez instalado se colocó los tapones roscables hembra de 1" al final de cada lateral.

Para el sistema de riego por microaspersión, se realizaron los orificios en la tubería principal en la que se introdujo un adaptador de 16 mm para la unión de los microaspersores, posteriormente la tubería se enterró.

La instalación del sistema de riego por goteo, de la misma manera que los microaspersores se colocó los adaptadores iniciales, con la tubería descubierta de los laterales, seguidamente con tee de 16 x 12 mm se insertó el gotero de anillos o "rabo de coche".



Figura 23. Sistema de riego por aspersión.



Figura 24. Sistema de riego por microaspersión.



Figura 25. Sistema de riego por goteo.

4.8 Evaluación de la Uniformidad de riego

4.8.1 Determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU) en el sistema de riego por goteo.

Para determinar la uniformidad de riego en el sistema de goteo se utilizó el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen, ampliamente utilizado debido a su confiabilidad, sencillez entre otras, con un valor resultante de 92.7 % equivalente a **Muy Buena** de acuerdo a la clasificación del riego adaptada por Caicedo, Balmaseda y Proaño (2015). Fontela et al., (2002) indica que el valor del coeficiente está afectado por diferentes factores como: son los constructivos que abarcan procesos de fabricación, tipo de gotero, materiales de instalación e hidráulicos como, goteros sometidos a diferentes presiones ocasionados por pérdidas de carga y desniveles, obstrucciones entre otras. Sin embargo, el sistema de goteo instalado no presenta ningún desperfecto de fábrica, ni falla por instalación permitiendo la buena recepción de resultados derivados de la evaluación.

4.8.2 Determinación del Coeficiente de Uniformidad (CU) en el sistema de riego por microaspersión.

De acuerdo a la clasificación citada por Caicedo, Balmaseda y Proaño (2015), los resultados obtenidos a partir de la uniformidad de riego en el sistema de microaspersión utilizando la metodología del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen es de 90.1 %, valor que corresponde a una uniformidad de aplicación **Muy Buena**, por lo cual la cantidad de agua aplicada es uniforme en la parcela. La influencia del viento, marcos de riego y presión de trabajo del microaspersor influyen en los resultados, (Ortiz, Miranda y Peroza, 2015) mencionan que los marcos de riego son aspectos que influyen en la uniformidad siendo la disposición en cuadrado los que presentan mayor eficacia, en concordancia a esta premisa se menciona que el presente sistema se encuentra instalado en dicho marco de riego por lo que contribuyó al correcto valor de uniformidad calculado.

Ortiz et al., (2015) también mencionan que el tamaño de la gota de agua, temperatura del aire, y altura del emisor influyen en la uniformidad, por su vinculación con la distorsión por pérdidas de evaporación y arrastre en el suelo ocasionados por el viento. Durante la ejecución de los ensayos en campo las condiciones ambientales fueron ideales (día claro, despejado, sin brisas, temperatura promedio de 17°C) además que las alturas de los microaspersores no superan los 0.30

m fueron situaciones que ayudaron a que los resultados no se vieran afectados por la velocidad del viento.

Tabla 11. *Clasificación de la calidad del riego en función del coeficiente de uniformidad.*

CUC (%)	Clasificación
> 90	Muy Buena
85 - 90	Buena
80 - 85	Aceptable
< 85	Inaceptable

Fuente: Caicedo, Balmaseda y Proaño (2015)

4.9 Manual de manejo y operación de los sistemas de riego.



4.9.1 Objetivo y alcance

4.9.1.1 Objetivo

Garantizar la eficiencia en el riego y conservar en las mejores condiciones de funcionamiento todos los componentes que conforman los sistemas de riego tecnificado instalados.

4.9.1.2 Alcance

El alcance del presente manual incluye la orientación en el manejo, operación y mantenimiento los sistemas de riego instalados en el sector “La Dolorosa” en la propiedad del Sr. Miguel Villamagua. El Manual contiene las actividades rutinarias y procedimientos que el usuario/operador puede seguir a fin de garantizar un rendimiento óptimo en los sistemas de riego, el cual corresponde a: aspersión, microaspersión y goteo.

4.9.2 Consideraciones generales.

A continuación, se listan algunas consideraciones generales importantes:

- Los sistemas de riego instalados aprovechan el diferencial de altura entre el tanque del sistema “La Dolorosa” y el terreno a regar, existiendo una diferencia de altura de 130 metros.
- La fuente de abastecimiento de agua corresponde a un tanque abierto de aproximadamente 30 metros cúbicos, a este tanque se encuentra conectada una tubería de polietileno de 2 pulgadas a la cual se conectan los usuarios de la junta de regantes del sector mediante una tubería de polietileno de ½ pulgada (16 mm). La conexión del Sr. Villamagua posee una válvula de globo junto a una unión universal que permite conectar y desconectar con facilidad a fin de realizar purgas o limpieza preventiva de la línea.
- A lo largo de la conducción que transporta agua desde el tanque al terreno, se ubican 2 válvulas tipo ventosa con una separación de 50 metros, es importante realizar revisiones periódicas en estos accesorios a fin de verificar que no existan obstrucciones.
- El riego se realizará de acuerdo al cultivo, y en una determinada estacionalidad de la siguiente forma:

Cultivo de manzana: de mayo a noviembre.

Cultivo de Tomate de árbol: de mayo a diciembre.

Pasto: de mayo a diciembre.

- La junta de regantes ha establecido turnos de riego para los usuarios de la junta. Cada 4 días se dispone de un día para el riego. A continuación, a manera de ejemplo se muestran los días hábiles para el mes de mayo.

Turnos de riego durante el mes de mayo/2020																																				
V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	L	M	M	J						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
				Día hábil para regar																																
				Días en los que no se riega																																

- La red de distribución y aplicación del riego está conformada por tuberías de PVC y de polietileno, es importante recordar que las tuberías tanto de PVC y polietileno son susceptibles de fracturas o fisuras por esfuerzos externos como presiones y vibraciones; por lo cual, es importante tener mucho cuidado durante las faenas de limpieza del terreno, siembra, podas desbroce y otras.

4.9.3 Componentes del sistema de riego

4.9.3.1 Cabezal de riego

El cabezal de riego se encuentra conformado por un conjunto de elementos, destinados a: filtrar, controlar el flujo, suministrar aditivos (fertilizantes, fitosanitarios, microelementos, etc.) y dotar de agua a cada una de las redes de distribución, el cabezal se encuentra conformado por:

- Un grifo para toma de muestras, purgas y otros usos comunes.
- Válvula metálica de globo de asiento normal de 1 pulgada (32 mm), destinada a controlar el paso de flujo hacia el filtro y las respectivas líneas de distribución.
- Una unión universal de PVC de alta resistencia, este accesorio permite el fácil desmontaje y desconexión del cabezal de riego, para realizar algún trabajo que se necesite en el cabezal o simplemente para desconectar el cabezal y guardarlo.
- Un manómetro de glicerina de 180 psi, este manómetro ayuda a medir la presión de entrada al cabezal, se debe vigilar continuamente que esta presión no llegue a los 160 psi ya que es la presión máxima que soporta el filtro, a la salida del filtro se encuentra ubicado otro manómetro que permite determinar la caída de presión

- Un filtro de anillas de 120 mesh, este filtro permite la retención de material articulado que pueda obstruir los emisores, entre las ventajas de este filtro se incluyen: anillas de polipropileno de alta resistencia a la mayoría de productos químicos, fácil remoción del cartucho de anillas para realizar limpieza, posee tecnología anti-algas, que permite retener las algas en la parte exterior de las anillas, impidiendo que paralicen el filtrado. Aparte es necesario comentar que este filtro permite colocar una ventosa en su extremo inferior para poder permitir la entrada y salida del aire y mejorar así el rendimiento del filtro y la protección frente a sobrepresiones; no obstante, durante las pruebas realizadas no se registraron novedades en el filtro, pero de registrarse sobrepresiones se debe contemplar la instalación de una ventosa de ½ pulgada en el extremo inferior del filtro.
- Válvula reductora/reguladora de presión de 1 pulgada, diseñada para reducir y estabilizar la presión del agua en el sistema de riego que se esté empleando, esta válvula permite ajustar mediante un mecanismo sencillo la presión de salida, por ello viene acompañada de un manómetro, la lectura en el manómetro permite tomar la decisión de ajustar la presión. Para que funcione el sistema de riego de microaspersores se necesita fijar en la válvula una presión mínima de 40 psi y para el riego por goteo también de 40 psi. Para su manipulación es importante mencionar que se debe girar el seguro plástico de color negro hacia arriba, luego se puede ajustar la tuerca superior en sentido horario para reducir presión y en sentido anti horario para liberar la presión. Habiendo ajustado a la presión requerida se debe ajustar nuevamente el seguro plástico para impedir que la tuerca gire por efecto del agua.
- El cabezal de riego está provisto de un Venturi para la inyección de fertilizantes o fitosanitarios (o cualquier otra solución de interés), este inyector en el cabezal tiene una forma de T con un estrechamiento que provoca que el agua corra más rápido, provocando una depresión que succiona la solución fertilizante inyectándola a la tubería. Junto con el Venturi se observa una tubería transparente de ½ pulgada con un pequeño filtro en su extremo, el cual debe ser introducido dentro del tanque con la solución de interés.
- Se recomienda que los productos que se dosifiquen, vengan en presentaciones comerciales líquidas y no sólidas, pues los químicos sólidos muchas veces presentan problemas de disolución y pueden generar depósitos o costras químicas que ocasionen taponamientos.

Válvulas de seccionamiento: el cabezal cuenta con algunas válvulas que permiten la operación de cada sistema por separado: goteo, aspersión y microaspersión, cada una se

encuentra plenamente identificada. Es importante mencionar que para realizar el riego cada sistema debe operar por separado.

El esquema del cabezal de riego se muestra a continuación.

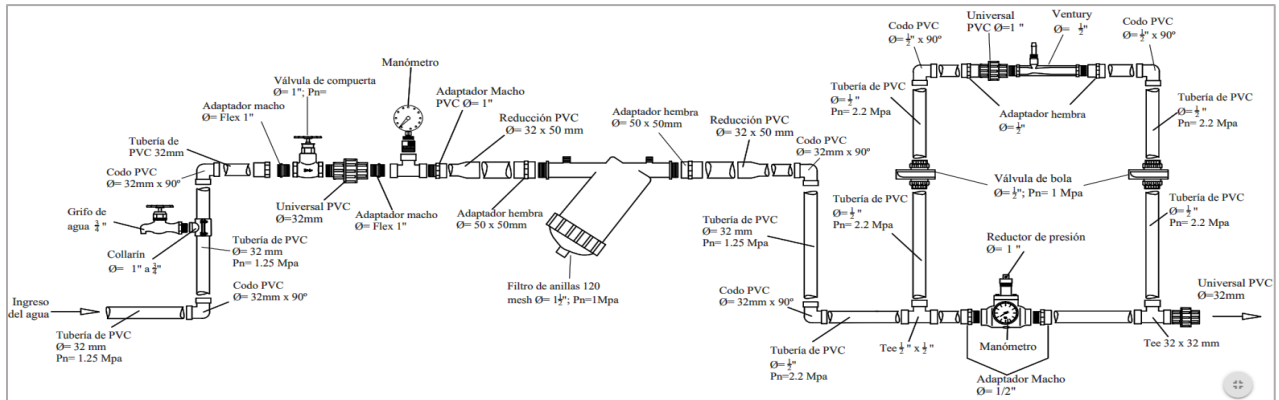


Figura 26. Esquema y fotografía del cabezal de riego instalado.

4.9.4 Red de distribución.

4.9.4.1 Tubería principal.

Para los 3 sistemas de riego se cuenta con una tubería de PVC de 1 pulgada (32 mm) que soporta una presión nominal de 1.25 MPa. En el tramo final de cada una de éstas tuberías se encuentra un tapón roscado que se utilizará para realizar purgas al sistema.

4.9.4.2 Laterales de riego.

Corresponde a las tuberías que se ubican dentro del cultivo a lo largo de las hileras de plantas de manzana (7 hileras) y tomate de árbol (11 hileras), en el caso de los sistemas de goteo y microaspersión estos laterales son de polietileno de diámetro nominal de 16 mm, vale mencionar que el sistema de goteo está distribuido en anillos comúnmente llamados “rabo de coche”, la cinta tiene un diámetro de 12 mm., y cada anillo está conformado por 10 goteros autocompensados.

En el caso del sistema de riego por aspersión se cuenta con 2 laterales de polietileno de 1 pulgada (32mm), tubería a la cual se conectan los aspersores, los que se encuentran montados sobre tubos de PVC de ½ pulgada y que se conectan al lateral a través de monturas con reducción de 1” a ½”. Cada lateral cuenta con una válvula para regular el flujo de agua, esta subdivisión obedece al caudal disponible para el riego y que resulta insuficiente para mantener los 2 laterales operativos al mismo tiempo por lo que es importante nuevamente revisar el cronograma de riego de cada parcela.

Todos los laterales del sistema cuentan con un seguro o tapón al final de cada tramo que permiten realizar purgas periódicas a fin de eliminar posibles sedimentos o material particulado que podrían ocasionar taponamientos en los emisores.

4.9.4.3 Emisores.

Los emisores son los dispositivos instalados en cada lateral y controlan la salida del agua, para cada sistema se tienen los siguientes emisores:

- Aspersión: 7 aspersores (caudal: 590 l/h, presión: 3 bares, diámetro húmedo de 22 metros)
- Goteo: 231 goteros autocompensados (presión: 0.4-2.5 bares, caudal: 1 l/h)
- Microaspersión: 49 microaspersores (caudal: 49-57 l/h, presión: 1.5-2 bares, diámetro húmedo de 7 metros, marca: AZUDraintec)

Los emisores elegidos reúnen ciertas características técnico –económicas por lo que si se necesita realizar un cambio de alguno de estos elementos deberá realizarse por otro igual o de similares características.

4.9.5 Operación del sistema de riego.

4.9.5.1 Turnos de riego

En la siguiente tabla se muestran los meses en los que se regará el terreno

Tabla 12. Meses en los que se riega.

Enero	Febrero	Marzo	Abril
Mayo	Junio	Julio	Agosto
Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	Meses en los que se riega		
	Meses en los que no se riega		

La distribución por horas en la semana de riego dependiendo de los turnos puede seguir el siguiente ejemplo:

Tabla 13. Distribución del riego semanal.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
08:00-10:00	Microasp.		.		Microasp		
10:00-12:00	Goteo				Goteo		
12:00-14:00	Aspersión 1				Aspersión 1		
14:00-16:00	Aspersión 2				Aspersión 2		

El número de riego distribuidos por mes, para cada cultivo, se orienta de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 14. Distribución de riegos por mes.

Mes	Número de riegos al mes	Cultivo
Mayo	8	Pasto, Tomate, Manzana
Junio	8	Pasto, Tomate, Manzana
Julio	8	Pasto, Tomate, Manzana
Agosto	8	Pasto, Tomate, Manzana
Septiembre	8	Pasto, Tomate, Manzana
Octubre	8	Pasto, Tomate, Manzana
Noviembre	8	Pasto, Tomate, Manzana
Diciembre	8	Pasto, Tomate, Manzana

4.9.5.2 Secuencia de operación.

Es importante tener en cuenta que para operar el sistema de riego deberá seguirse una determinada secuencia de operación que garantice su funcionamiento adecuado y disminuya el deterioro del mismo, esto último es importante ya que como se observa en el calendario anual de riego existen meses en los que no se ocupa el sistema

4.9.5.2.1 Llenado del tanque principal.

La fuente de abastecimiento de agua, la constituye el tanque del sector “La Dolorosa” que forma parte del sistema de riego Aguarongo, este es un tanque descubierto y no posee un sistema de filtros por lo que durante la operación de llenado es importante revisar que no ingresen objetos que puedan decantar y tapan las tuberías, se deben retirar hojas, insectos, animales, piedras, etc. Las operaciones de mantenimiento deben incluir la limpieza periódica de este tanque.



Figura 27. Tanque reservorio que abastece de agua al predio "La Dolorosa".

4.9.5.2.2 Purga y llenado de la tubería principal.

Para colocar en funcionamiento el sistema es necesario tomar algunas precauciones que estén orientadas a evitar la disminución o la interrupción del caudal y la rotura de tubos, debidas a la presencia de aire, a la ocurrencia de sobrepresiones, de un vacío o de un taponamiento abrupto:

- Se procede a realizar una purga en la toma inicial, para el efecto se desconecta la tubería en la unión universal de ½” y se deja correr el agua por un lapso de tiempo no menor a 5 minutos, observando la calidad del agua que sale de la tubería.

- Desde esta válvula, se inicia lentamente el llenado de la tubería, con la válvula abierta a ¼ de su capacidad.
- El próximo punto a revisar, es la ventosa, aquí se debe vigilar la salida de aire en esta válvula.
- Posteriormente se debe realizar una purga en el cabezal de riego, desconectada la unión universal se debe realizar una purga a fin de eliminar posibles impurezas que se encuentren al interior de la tubería.
- Posteriormente se vuelve a conectar el cabezal de riego y se procede a comprobar que el agua llegue a cada uno de los tapones de purga de las líneas principales de los sistemas de microaspersión, aspersión y goteo.
- En la válvula principal se procede a aumentar el caudal hasta la cantidad requerida por el sistema de riego.
- Durante la manipulación de todas las válvulas estas deben abrirse y cerrarse lentamente.
- Se recomienda que, culminado el ciclo de riego de toda la temporada seca, las tuberías sean vaciadas totalmente.

4.9.5.3 Aplicación del riego

La aplicación del riego debe realizarse para cada sistema de acuerdo al cronograma establecido. Es de vital importancia entender que regar en exceso es perjudicial no solo para el cultivo sino también para el suelo; además, de afectar a los demás usuarios de la junta de regantes pues en épocas de estiaje el suministro de agua se ve limitado.

El cabezal de riego es una línea móvil que puede ser operada sin esfuerzo por cualquier operador(a), puede ser retirada y colocada sin la necesidad de un técnico especialista, bastará ubicar las uniones tipo universal que permiten manipular este cabezal.

Cada sistema de riego tiene una válvula de admisión correctamente identificada en el cabezal de riego, y un tapón de rosca para realizar las respectivas purgas al sistema.

Manipule las válvulas siempre vigilando los manómetros en el cabezal, la presión en el ingreso no debe sobrepasar los 160 psi y a la salida no debe sobrepasar los 45 psi, puede mantener las válvulas abiertas de los sistemas de riego de aspersión, microaspersión y goteo al tiempo hasta

asegurar dicha presión; además de ir colocando los tapones al final de las líneas. Realizado las purgas y asegurada la presión se procede a regar cada sector del terreno.

4.9.6 Mantenimiento del sistema de riego

4.9.6.1 Tanque de almacenamiento de agua.

Si bien el tanque de almacenamiento de agua es de uso compartido entre los usuarios de la junta de regantes del sector “La Dolorosa” es necesario mencionar algunas de las tareas habituales de mantenimiento:

- Revisión y limpieza periódica del tanque
- Revisión y reparación de cerca para impedir el acceso de animales que pudieran caer en el tanque
- Es posible que sea necesario dosificar algunos químicos si se observa algunas condiciones del tanque o del sistema de riego directamente, si en los laterales se observa por ejemplo un nivel de suciedad elevado con algas se debe dosificar hipoclorito de sodio para controlar su crecimiento o en su defecto también se podría dosificar sulfato de cobre en una concentración de 3 a 5 ppm en el tanque; no obstante, si se observa este efecto adverso es mejor contactar a un especialista.

4.9.6.2 Filtros.

Es importante que se realice una revisión periódica del diferencial de presión entre los manómetros a la entrada y salida del filtro pues este diferencial indica el grado de suciedad del filtro. Cuando la diferencia de presión es del orden de 5 a 7 m.c.a, se deben limpiar cuidadosamente.

Para realizar la limpieza (manual) se debe retirar la carcasa de sujeción del filtro de la parte de abajo, la cual se desenrosca suavemente girando en contra de las manecillas del reloj, luego se retira el cartucho que contiene las anillas y se pueden limpiar con un cepillo de cerdas suaves o con una manguera a presión tal como se muestra a continuación en la **Figura 28**.



Figura 28. Limpieza de cartucho de anillas del filtro.

Fuente: Universidad Politécnica de Valencia.

Una vez realizado la limpieza se vuelve a colocar el cartucho y asegurar la carcasa, posteriormente se deja correr agua a través del cabezal de riego y se verifica que las pérdidas de carga hayan reducido.

Una buena práctica consiste en realizar una limpieza del filtro a una escala mensual

4.9.6.3 Manómetros.

Es recomendable revisar los manómetros que presenten fallas, rotura del vidrio, pérdida de glicerina o no se encuentren correctamente calibrados, para el efecto se recomienda disponer de un manómetro calibrado como elemento de referencia para comparar las mediciones de los otros manómetros.

4.9.6.4 Inyector Venturi.

Una vez que el inyector de fertilizante entre en marcha, se debe revisar el funcionamiento de este sistema antes de cada uso, se debe evitar la acumulación de compuestos de baja solubilidad en el fondo del tanque donde se prepare la solución. Todo el sedimento acumulado en este tanque debe ser retirado, el operador debe usar el equipo de protección personal recomendado por el fabricante de los productos químicos, sean estos para las manos, brazos, cabeza, ojos etc.

4.9.6.5 Laterales de riego.

Se debe realizar una inspección visual de las conducciones de polietileno de todos los sistemas, la revisión debe ser minuciosa y diaria, cuando las tuberías se rompen o se desconectan los emisores se pueden observar pérdidas de agua, distribución del riego sin uniformidad, pérdidas

de presión, etc., esta situación que debe ser resuelta inmediatamente. Si se detecta roturas en la tubería de polietileno, se debe cortar la parte afectada y se puede introducir una unión para manguera asegurando los extremos con alambre o con abrazaderas.

4.9.6.6 Emisores.

Se debe realizar inspección visual de los emisores a fin de detectar diferentes anomalías que pudieran presentar, generalmente taponamientos, de los 3 sistemas los emisores más difíciles de limpiar son los goteros, en tanto que los microaspersores y aspersores se pueden realizar limpiezas mecánicas utilizando elementos finos en las boquillas como agujas y agua a presión para limpiarlos. Las obstrucciones más comunes se producen por arcilla y sólidos en suspensión, se obstruyen también por depósitos devenidos de la dureza cálcica y magnésica del agua que circula por la tubería, aunque también se registran taponamientos por el crecimiento de algas y bacterias.

Si bien existen métodos químicos que ayudan a limpiar las obstrucciones antes mencionadas, en este apartado es necesario recalcar el mantenimiento preventivo el cual se basa en el lavado periódico de las líneas de distribución.

Una buena práctica consiste en medir el volumen que los goteros descargan, cada gotero debe descargar en promedio 45 ml en un minuto (+/- 5ml), lo que garantizaría su buen funcionamiento, este volumen se puede medir con una probeta y un cronómetro.

4.9.7 Trabajos a realizar con frecuencia en el terreno.

Se recalca la importancia de la purga de todas las tuberías principales, y laterales de riego.

Cuando se realice labores de limpieza y deshierbe en el terreno se deben levantar las tuberías laterales en forma cuidadosa, además de tener en cuenta el recorrido que siguen las tuberías y que se detallan en el mapa que se anexa al presente manual (**Anexo 19**).

Se recomienda mantener completamente limpia y libre de malezas el sitio en el que se ubica el cabezal de riego y tuberías principales.

4.9.8 Control de malezas.

Es necesario realizar control de maleza en los diferentes componentes del sistema de riego, desde el tanque principal hasta las tuberías que irrigan el cultivo.

Se recomienda que la remoción de malezas se realice mediante herramientas manuales, y que no se utilice el control químico, esto debido a que el área es relativamente pequeña y en procura de mantener un ambiente sano y disminuir la contaminación en el sector.

4.9.9 Control de plagas.

Los roedores y algunos insectos causan daños a las tuberías, especialmente si la tubería no se encuentra enterrada y son de pared delgada si se identifica el caso se debe ejecutar un programa de control de plagas, se recomienda que este control no incluya un control químico ya que se podría contaminar el cultivo, por el contrario, se podría utilizar trampas mecánicas de captura.

4.9.10 Recomendaciones generales.

Si la velocidad del viento es alta, se recomienda abstenerse de realizar labores de riego por microaspersión y aspersión, esto debido a que la uniformidad de distribución del agua aplicada disminuye considerablemente con el viento. Además, con altas velocidades de viento, las pérdidas por evaporación aumentan, en este caso podría evaluarse la posibilidad de realizar un riego nocturno.

Parte del control de la velocidad del viento son las pantallas vegetales, estas pantallas son arbustos nativos de mediana altura que contribuyen a frenar la velocidad del viento, se recomienda que el dueño siembre arbustos nativos que formen una pantalla vegetal en los límites del predio.

5 CONCLUSIONES

- Inicialmente el proyecto contempló el diseño de dos sistemas de riego; sin embargo, las necesidades de siembra, espacio disponible, la buena disposición del dueño del predio, y el acceso a diferentes insumos de información y materiales permitió la implementación de tres sistemas de riego en función de las características propias del terreno y de los cultivos que se pretenden implementar en el predio “La Dolorosa” de la parroquia Chuquiribamba, estos sistemas corresponden a microaspersión, goteo y aspersión.
- El proyecto inicial tenía previsto cubrir la demanda hídrica de los cultivos distribuidos en una superficie de 2800 m² bajo el sistema de riego por goteo y microaspersión, con la inclusión del riego por aspersión se sumaron 1010 m² con lo cual se garantiza la irrigación de 3900 m² (0.39 ha) en los meses de máxima demanda hídrica, al incluir este tercer sistema e incrementar la superficie irrigada se contribuye a dar soluciones efectivas que la comunidad demanda y se enmarcan en la vinculación efectiva de la Universidad Nacional de Loja con el sector agropecuario de la provincia de Loja.
- Los cultivos que se van a implementar corresponden a: manzana con 0.196 ha, tomate de árbol 0.093 ha y pasto con 0.097 ha, en función de las características del cultivo y suelo se seleccionó el tipo de sistema de riego a implementar. Siendo microaspersión para manzana, goteo para tomate de árbol y aspersión para pasto.
- En función de los valores de campo para el caudal (0.66 l/s) y velocidad de infiltración (6.7 mm/h) se procedió a seleccionar el aspersor y microaspersor que mejor se ajuste a estos parámetros, los criterios técnicos de los emisores que se consideraron fueron el caudal de servicio y diámetro húmedo; en tanto que, para el sistema de goteo, el criterio técnico de selección del gotero fueron el caudal y la presión de servicio.
- Debido a la pendiente que presentó el terreno, fue necesario realizar algunas adecuaciones para la implementación del cultivo de manzana y de su sistema de riego, estas labores incluyen la construcción de camas que igualen la pendiente por donde se dará paso a la red hidráulica y siembra de plántulas, caminos de acceso, además de las labores de limpieza de maleza.
- El Coeficiente de Uniformidad para el sistema de microaspersión y goteo se evaluó mediante el método de Christiansen en ambos casos el resultado es ligeramente mayor al

90% lo que significa que el sistema funciona correctamente y presenta una buena distribución del flujo de agua.

- Dentro de las fortalezas de la evaluación aplicada en este estudio a los sistemas de microaspersión y goteo, destacan su sencillez al realizar las pruebas en campo, con datos de fácil obtención, de cálculos sencillos, con resultados confiables en cuanto a la uniformidad de aplicación de agua y es un indicador que permitió conocer de manera general que el diseño del sistema riego instalado en el predio “La Dolorosa” es correcto y se encuentra en normal funcionamiento; por otro lado, las debilidades de esta evaluación es que si bien permitió obtener la uniformidad de aplicación no indicó la eficiencia de distribución de agua en el suelo y los resultados de esta evaluación se pudieron ver afectados en mayor o menor medida por las condiciones climáticas como la velocidad del viento y temperatura a lo largo de la ejecución de las pruebas.
- Con la finalidad de garantizar la eficiencia en el riego y conservar en las mejores condiciones de funcionamiento todos los componentes que conforman el sistema de riego instalado, se elaboró un manual de manejo, operación y mantenimiento. Este documento contiene: turnos de riego, componentes del sistema, operación antes, durante y después del riego y tareas de mantenimiento generales y específicas.
- El proyecto culminado tuvo un presupuesto de 1932.90 dólares, que incluye los rubros de materiales, mano de obra calificada y no calificada e instalación.

6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que se sigan realizando estudios orientados a la tecnificación de sistemas de riego para que los agricultores de la parroquia Chuquiribamba logren mejorar su calidad de vida y productividad.
- Realizar estudios meteorológicos complementados con el uso de los sistemas de Información Geográficos (SIG) a fin de mejorar la disponibilidad de datos actualizados, conocer la demanda de agua en el cultivo y crear un plan de riego que colabore con los usuarios del sector a una mejor gestión del recurso hídrico.
- Hacer un estudio de acuerdo a las velocidades del viento y su incidencia en la operación de los sistemas de riego de aspersión y microaspersión, en el reparto y uniformidad de aplicación de la gota de agua al suelo y cuáles podrían ser las diferentes alternativas que permitan combatir la acción del viento.
- Se recomienda que este estudio se complemente con la ejecución de otras evaluaciones del sistema de riego como son la de distribución y eficiencia de aplicación.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Alfaro, I., y Nomberto, P. (2015). Diseño de un sistema de riego por goteo para el cultivo de café en el sector Quebradonda-Catache-Santya Cruz-Cajamarca (Tesis de grado). Universidad Nacional “Pedro Ruiz Gallo”. Lambayeque-Perú.
- Angella, G., Frías, C., y Salgado, R. (2016). Conceptos básicos de las relaciones agua-suelo-planta. INTA. Buenos Aires-Argentina.
- Arviza Valverde, J., Balbastre Peralta, I., & Palau Estevan, C. V. (2016). “DimSub”, aplicación para el diseño y dimensionado de subunidades de riego localizado. In XXXIV Congreso Nacional de Riegos, Sevilla 2016. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola.
- Assan, M., y Gorosito, S. (2018). Relación agua suelo planta. Serie Didáctica N° 1 Catedra de Riego y Drenaje FCA UNCA. Recuperado de: <http://editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/CUADERNOS%20DE%20CATEDRA/Guia%20didactica%20RASPAS%20Assan.pdf>
- BANCO MUNDIAL BIRF-AIF (2017). Indicadores del desarrollo mundial. Recuperado de: <https://blogs.worldbank.org/opendata/es/el-70-del-agua-dulce-es-utilizada-para-la-agricultura>.
- Beltrán, M., J. 2018. Propiedades físicas de los suelos, un recurso natural prestador de servicios biológicos y ambientales. Universidad Autónoma de Sinaloa, UAS. Febrero.
- Berber, M., y Hafez, H. (2015). Absorbent polymers and drip irrigation: a way of controlling irrigation water. Drip irrigation, 43.
- Bhuiyan, A., y Keshtgar, A (2015). Design of clogging-free uniform emission drip irrigation system using microtubes. DRIP IRRIGATION, 75.
- Biswas, R. (2015). Drip and sprinkler irrigation. Biology, 284(1).
- Cadena, V. (2017). Hablemos de riego. (Segunda ed). Quito, Ecuador: CONGOPE
- Caicedo, O., Balmaseda, C., y Proaño, J. (2015). Evaluación hidráulica del riego por aspersión subfoliar en banano (*Musa paradisiaca*) en la finca San José 2, provincia Los Ríos, Ecuador. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 24(1), 38-43.

- Cardoso, M., y Montiel, V. (2016). Estrategias para estimar el coeficiente de uniformidad en laterales de riego. *Ingeniería y Región*, (16), 61-68.
- Chu, L., Kang, Y., y Wan, S. (2014). Influence of microsprinkler irrigation amount on water, soil, and pH profiles in a coastal saline soil. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Delgadillo, O., y Pérez, L. (2016). Medición de la infiltración del agua en el suelo. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua. Centro AGUA. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y Forestales Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- Demin, P. (2014). Aportes Para el Mejoramiento del Manejo de los Sistemas de Riego: Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. Ediciones INTA.
- Demin., P. (2014) Aportes Para el Mejoramiento del Manejo de los Sistemas de Riego: Métodos de riego: fundamentos, usos y adaptaciones. Ediciones INTA.
- Domínguez, J., y Paola, G. (2019). Diseño de riego por goteo para conducir 19.34 has de mango Kent (*Mangifera indica* L.) en el fundo M & B SAC distrito Buena Vista Alta, provincia Casma, región Ancash. (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Peru.
- Fernández, R. (2010). Manual de Riego para agricultores: Módulo 3. Riego por Aspersión. Andalucía, España: Conserjería de Agricultura y Pesca.
- Fernández, R., Yruela, M. C., Milla, M., García, J., Oyonarte, N., Ávila, R., y Gavilán, P. (2010). Manual de riego para agricultores. Riego localizado. Instituto de investigación y formación agraria y pesquera. pag, 154.
- Franco, A (2018). Evaluación de la eficiencia del método de riego por goteo (Tesis de grado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Franquet. B, y Josep. M. (2019). Coeficiente reductor de Christiansen. Diseño de un riego por aspersión.
- Fries, A., Rollenbeck, R., Nauß, T., Peters, T., y Bendix, J. (2012). Near surface air humidity in a megadiverse Andean mountain ecosystem of southern Ecuador and its regionalization. *Agricultural and Forest Meteorología*, 152, 17-30.

- García, G. N., y García, S. N. (2013). Química agrícola química del suelo y de nutrientes esencial. Mundi-Prensa Libros.
- Gobierno Autónomo Descentralizado de Chuquiribamba (2014-2019). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Loja-Ecuador.
- Gómez, G., Cerrón, R., Capcha, T., y Villavicencio, C. (2014). Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*, 4(2), 8.
- Gómez, J. J. C., Muñoz, R. B., y Rodríguez, M. D. L. H. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19(1), 39-50.
- Goyal, M. R. (Ed.). (2014). *Sustainable Micro Irrigation: Principles and Practices*. CRC Press.
- Goyal, R. y Singh, A. (Eds.). (2017). *Micro Irrigation Engineering for Horticultural Crops: Policy Option, Scheduling, and Desing*. CRC Press, a member of Taylor & Francis Group.
- Goyal, M., y Aladakatti, B (Eds.). (2018). *Engineering Interventions in Sustainable Trickle Irrigation: Irrigation Requirements and Uniformity, Fertigation, and Crop Performance*. CRC Press.
- Guayllas, Luis. (2017). Valoración de la calidad del agua en la cuenca del río Guadania a través de técnicas de modelación a gran escala y planeamiento de alternativas correctoras. (Tesis de maestría). Valencia, España.
- Holzmann R. (2015)., *Relación Suelo-Planta-Agua*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Centro Regional Patagonia Norte Estación. INTA. Argentina.
- Jiménez, R. (2019). Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José (Tesis de grado). Loja, Ecuador.
- Kay, M. (2017). *Practical hydraulics and water resources engineering*. CRC Press.
- Kirkham, M. (2014). *Principles of soil and plant water relations*. Academic Press.
- Lambert, M., Lewis, R., Virgil, Q. (2016). *Applied Soil Physical Properties, Drainage, and Irrigation Strategies*. New York, USA: Springer.

- Laserma, A., Montero, M., Sheikhesmaeili, E., y Alcázar, B. (2016). Análisis de la uniformidad de riego en sistemas de aspersión semiportátil con aspersores de gran tamaño. In XXXIV Congreso Nacional de Riegos (pp. 1-10). Asociación Española de Riegos y Drenajes
- León, F., Viteri, D., Y Cevallos, A. (2004). Manual del cultivo de tomate de árbol.
- Martínez J. (2014). Introducción al riego. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. España.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería MAG (2011). Subsecretaria de Riego y Drenaje, (2011). Plan Nacional del Riego y Drenaje PNRD (2011-2026). Quito, Ecuador. Recuperado de: <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/518d6325bd92eabc15000002>
- Ministerio de Agricultura y Riego MINAGRI. (2015). Manual del cálculo de eficiencia para sistemas de riego. Lima, Perú.
- Memon, A., y Jamsa, S. (2018). Crop Water Requirement and Irrigation scheduling of Soybean and Tomato crop using CROPWAT 8.0. International Research Journal of Engineering and Technology, 5(9), 669-71.
- Moratiel, Y. (2017). Riego en cultivos: fundamentos y manejo. Madrid, España. Mundo-Prensa.
- Mullo, J. (2016). Diseño de un sistema de riego parcelario para la comunidad San Pedro, ubicada en la Parroquia La Matriz, Cantón Guamote (tesis de grado). Universidad San Francisco de Quito, Quito
- Murray R., Orozco B., González G., González L. (2014). La materia orgánica restaura las propiedades físicas de los suelos transportados para nivelar una superficie agrícola. EDUCATECONCIENCIA. Volumen 4, pp-pp 157. Recuperado de: <http://tecnocientifica.com.mx/educateconciencia/index.php/revistaeducate/article/view/79/74>
- Nosetto, M. D., y Jobbagy E. G. (2014). Plantaciones forestales: Sus servicios e impactos hidrológicos.

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO (2016). AQUASTAT. Recuperado de: http://www.fao.org/nr/nr/water/aquastat/countries_regions/ECU/indexesp.stm.
- Ortiz, A. (2017). Variabilidad espacial de las constantes hidrofísicas del suelo en el sistema de riego "Campana-Malacatos" Tesis de grado, Loja: Universidad Nacional de Loja).
- Ortiz, N., Miranda, H., y Peroza, D. (2015). Uniformidad y pérdidas por evaporación y arrastre en riego por aspersión en Tarabana, estado Lara. Revista Unellez de Ciencia y Tecnología, 33, 53-61
- Roti, V., Polisgowdar, S., & Kashyap, S. (2018). Performance of Cabbage Under Best Management Practices. In Engineering Interventions in Sustainable Trickle Irrigation (pp. 287-293). Apple Academic Press.
- Saborio L. (2018). Diseño de un sistema de conducción y de dos sistemas de riego para café en el centro de investigación del café de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago-Costa Rica. Steele, A. H. (Ed.). (2015). Drip Irrigation Technology, Management and Efficiency, New York, U.S.A: NOVA
- Sarango, A. (2019). Evaluación del Sistema de riego por goteo en la finca Shagindode la parroquia san pedro de la bendita. (tesis de grado). Universidad Nacional de Loja, Loja.
- Serio, L., Antelo, M., y Zalazar, S. M. F. (2019) Evapotranspiración de Hargreaves en Argentina con datos grillados en alta resolución: valores medios y tendencias.
- Servín Palestina, M., Tijerina Chávez, L., Medina García, G., Palacios Velez, O., y Flores Magdaleno, H. (2017). Sistema para programar y calendarizar el riego de los cultivos en tiempo real. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(2), 423-430.
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., Y Acevedo, E. (2015). Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Steele, A. H. (Ed.). (2015). Drip Irrigation Technology, Management and Efficiency, New York, U.S.A: NOVA

Suárez, E. (2018). AFORO DE CAUDALES.

Talens, J. A. M. (2017). Manual básico de cultivo localizado. Riego y fertirrigación. Mundi-Prensa Libros. X

Ulloa, M. C. (2012) Riego Andino Tecnificado.

Valverde, L., y Morocho, E. (2014). Determinación del rango óptimo del potencial matricial del suelo en el cultivo de fresa (*fragaria vesca*) bajo riego por goteo en la Estación Experimental La Argelia (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja.

Waller, P., y Yitayew, M. (2016). Irrigation and drainage engineering. Springer, Heidelberg

Waller, P., & Yitayew, M. (2016). Mainline Design. In Irrigation and Drainage Engineering (pp. 120-145). Springer, Cham.

Zotarelli, L., Dukes, G., Liu, G., Simonne, E., Agehara, S. (2019). Principles and Practices of Irrigation Management for Vegetables. En University of Florida (Ed). Nutrient Management of Vegetable and Row Crops Handbook. (pp. 152-160). Florida, USA: Vegetable Production Handbok of Florida.

8 ANEXOS

Anexo 1. Ecuaciones iniciales de caudal.

TIEMPO	SEGUNDOS
t1	13.91
t2	14.36
t3	14.37
t4	14.48
t5	13.94
t6	14.93
t7	14.48
t8	14.91
PROMEDIO	14.42

$$Q = \frac{v}{t_{promedio}}$$

$$Q = \frac{10 \text{ litros}}{14.42 \text{ s}}$$

$$Q = 0.69 \text{ l/s}$$

Margen de error del 5% = 0.035

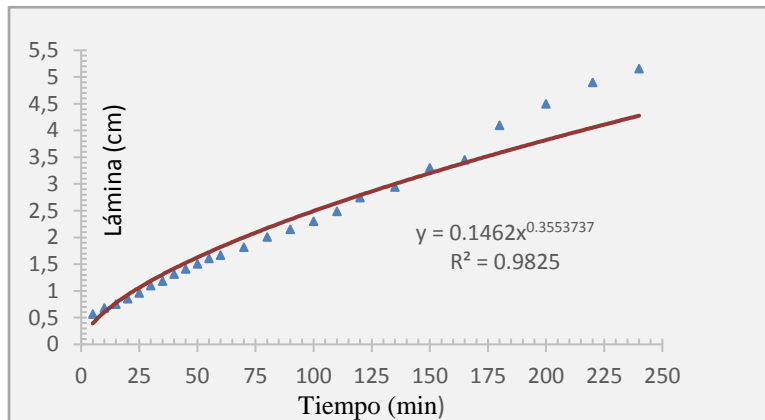
$$Q = 0.69 \text{ l/s} - 0.035$$

$$Q = \mathbf{0.66 \text{ l/s}}$$

Anexo 2. Valores de velocidad de infiltración básica (VIB).

Tabla 15. Datos de las pruebas de infiltración.

Tiempo (acumulado) min	Repetición 1 Infiltración acumulada (cm)	Repetición 2 Infiltración acumulada (cm)	Repetición 3 Infiltración acumulada (cm)	Promedio Infiltración Acumulada (cm)
5	0.1	1	0.6	0.57
10	0.1	1.2	0.7	0.67
15	0.1	1.3	0.9	0.75
20	0.1	1.4	1.1	0.85
25	0.1	1.6	1.2	0.96
30	0.1	1.9	1.3	1.1
35	0.1	2.1	1.4	1.2
40	0.1	2.4	1.4	1.3
45	0.1	2.6	1.5	1.4
50	0.1	2.8	1.6	1.5
55	0.1	3.0	1.7	1.6
60	0.1	3.1	1.9	1.7
70	0.1	3.3	2.0	1.8
80	0.1	3.6	2.3	2.0
90	0.1	3.9	2.6	2.2
100	0.1	4.2	2.6	2.3
110	0.2	4.4	2.9	2.5
120	0.2	4.7	3.2	2.7
135	0.2	5.0	3.5	2.9
150	0.3	5.4	4.2	3.3
165	0.3	5.8	4.4	3.5
180	0.5	6.9	4.9	4.1
200	0.6	7.9	5.0	4.5
220	0.6	8.7	5.4	4.9
240	0.7	9.5	5.4	5.2



$y = 0.1462x^{0.3553737}$		
A	0.15	
B	0.36	
a	0.05	
b	-0.64	
t bas	6.45	
t min	386.78	
I bas	0.001117	
I bas	0.07	cm/min
I bas	0.67	cm/hora
I bas	6.70	mm/hora

Anexo 3. Curvas del coeficiente del cultivo (kc) para manzana, pasto y tomate de árbol.

Tabla 16. Valores del (kc) y etapas de desarrollo del cultivo de manzana.

Cultivo de manzana						
	Etapas (días)		Duración de días	kc	Días acumulados	kc acumulado
Kc (ciclos vegetativos)	Etapa inicial	0 - 20	20	0.45	0	0.45
	Desarrollo	20 - 90	70	0.95	20	0.45
	Coefficiente medio	90 - 210	120	0.95	90	0.95
	Etapa final	210 - 270	60	0.7	210	0.95
Tiempo de desarrollo		nueve meses	270	3.05	270	0.7

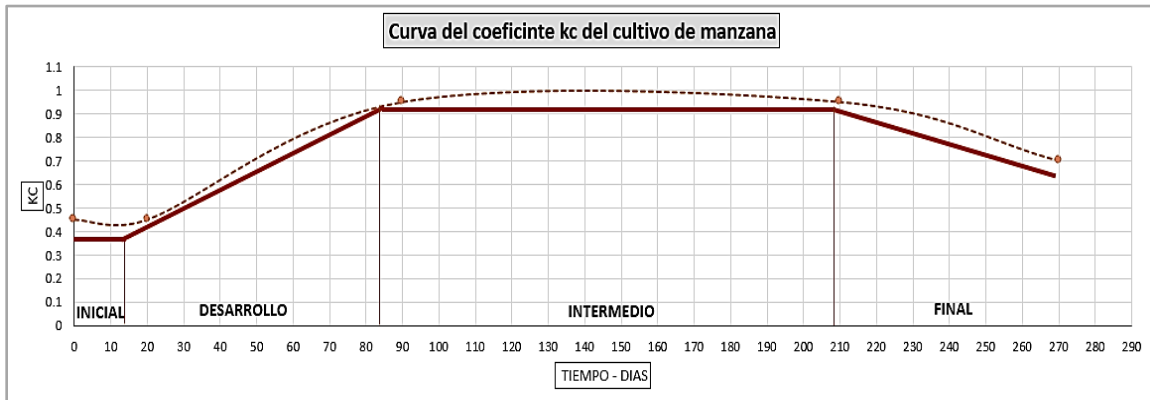


Figura 29. Curva del coeficiente (kc) del cultivo de manzana.

Tabla 17. Valores de (kc) y etapas de desarrollo del cultivo de tomate de árbol.

Cultivo de tomate de árbol						
	Etapas (días)		Duración de días	kc	Días acumulados	kc acumulado
Kc (ciclos vegetativos)	Etapa inicial	0 - 28	28	0.6	0	0.6
	Desarrollo	28 - 180	152	1.2	28	0.6
	Coefficiente medio	180 - 390	210	1.2	180	1.2
	Etapa final	390 - 570	180	0.8	390	1.2
Tiempo de desarrollo		Año y medio	570	3.8	570	0.8

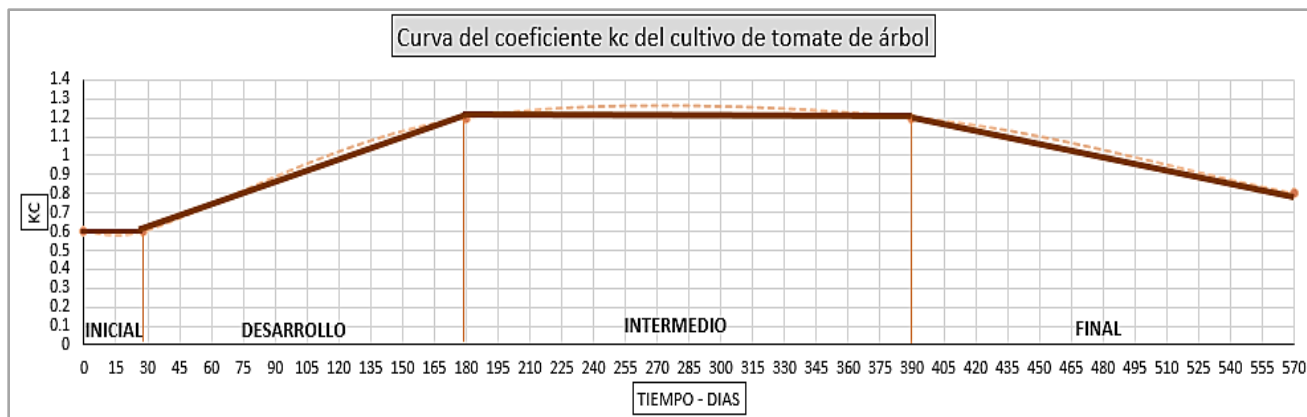


Figura 30. Curva del coeficiente (kc) del cultivo de tomate de árbol.

Tabla 18. Valores de (kc) y etapas de desarrollo del cultivo de pasto.

Cultivo de pasto						
	Etapas (días)		Duración de días	kc	Días acumulados	kc acumulado
Kc (ciclos vegetativos)	Etap inicial	0 - 10	10	0.95	0	0.95
	Desarrollo	10 - 30	20	1.05	10	0.95
	Coefficiente medio	30 - 105	75	1.05	30	1.05
	Etap final	105 - 140	35	1.00	105	1.05
Tiempo de desarrollo		4 meses	140	4.05	140	1.00

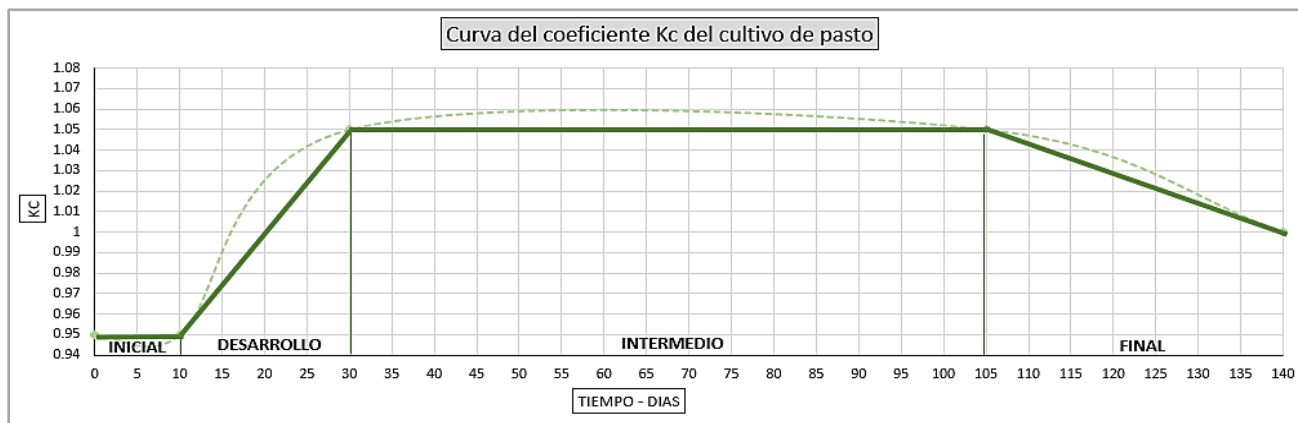


Figura 31. Curva del coeficiente (kc) del cultivo de pasto.

Tabla 19. Precipitación efectiva (Pe)

		Precipitación efectiva												
SERIE	DATOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1990-2012	Media	96.9	158.4	170.5	123.6	62.2	48.7	39.6	27.1	29.3	52.4	64.9	88.9	962.4
	Min	41.6	63.2	60.9	56.6	19.7	13.4	10.6	6.9	8.8	22.7	14.6	13.0	332.1
	Max	188.1	311.5	323.0	223.5	111.1	77.8	78.8	63.6	69.8	88.7	159.6	194.3	1889.7
	Pe 75%	68.2	123.4	120.5	93.2	48.7	34.4	25.9	15.7	17.8	37.3	38.3	67.5	876.3
	Pe mm/mes	64.2	96.2	101.7	78.9	43.2	34.4	28.3	19.7	21.2	36.8	44.9	60.2	629.6
	Pe mm/día	2.07	3.44	3.28	2.63	1.39	1.15	0.91	0.63	0.71	1.19	1.50	1.94	20.84

Anexo 4. Parámetros para la determinación de los requerimientos de riego de los cultivos de manzana tomate de árbol y pasto.

Tabla 20. Requerimientos de riego del cultivo de manzana.

Necesidades Hídricas (mm/día)												
Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Balance hídrico	-	-	-	-	0.20	0.28	0.48	1.12	1.23	0.86	0.60	-0.06
Ef. sistema (Ea)	0.85											
Nec. Bruta (Nb)	-	-	-	-	0.23	0.33	0.56	1.31	1.44	1.02	0.70	-0.08
Caudal Fict (qc)	-	-	-	-	0.03	0.04	0.06	0.15	0.17	0.12	0.08	-0.01

Tabla 21. Requerimientos de riego del cultivo de tomate de árbol.

Necesidades hídricas (mm/día)												
Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Balance hídrico	0.12	-	-	-	0.62	0.66	0.84	1.58	1.74	1.40	1.15	0.43
Ef sistema (Ea)	0.90											
Nec. Bruta (Nb)	0.13	-	-	-	0.69	0.73	0.93	1.75	1.93	1.56	1.28	0.48
Caudal Fict (qc)	0.02	-	-	-	0.08	0.08	0.11	0.20	0.22	0.18	0.15	0.06

Tabla 22. Requerimientos de riego del cultivo de pasto.

Necesidades Hídricas (mm/día)												
Parámetro	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Balance hídrico	-	-	-	-	0.37	0.43	0.62	1.30	1.43	1.08	0.82	0.13
Ef sistema (Ea)	0.85											
Nec. Bruta (Nb)	-	-	-	-	0.43	0.51	0.73	1.53	1.68	1.27	0.96	0.16
Caudal Fict (qc)	-	-	-	-	0.05	0.06	0.08	0.18	0.19	0.15	0.11	0.02

Anexo 5. Diseño agronómico del sistema de riego por aspersión y microaspersión.

Tabla 23. Datos generales empleados para el diseño del sistema de riego por microaspersión (cultivo de manzana)

DATOS GENERALES				
Textura:	Franco Arcilloso Arenoso FrArAo			
CC:	26.63	%	0.27	
PMP:	18.00	%	0.18	
Porcentaje de agotamiento (f):	50	%	0.5	
VIB:	4.50	mm/h	0.005	m/h
Velocidad del viento :	3.58	m/s		
Da:	1.45	g/cm ³		
Prof Efect raíz (70%):	42	cm	420	mm
Caudal total del predio	0.66	l/s		
Necesidades de Riego (NR)	1.44	mm/día		

Tabla 24. Datos generales empleados para el diseño del sistema de riego por aspersión (cultivo de pasto).

DATOS GENERALES				
Textura:	Franco Arcilloso Arenoso FrArAo			
CC:	26.63	%	0.27	
PMP:	18.00	%	0.18	
Porcentaje de agotamiento (f):	50	%	0.5	
VIB:	6.83	mm/h	0.005	m/h
Velocidad del viento :	3.58	m/s		
Da:	1.45	g/cm ³		
Prof Efect (70%):	70	cm	700	mm
Caudal total del predio	0.66	l/s		
Necesidades de Riego (NR)	1.68	mm/día		

Tabla 25. Valores promedio de velocidad del viento (m/s) para la parroquia Chuquiribamba.

Velocidad del viento m/s											
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2.05	1.83	1.96	2.13	2.13	3.45	3.32	3.59	3.08	2.21	1.89	2.17

Fuente: INAMHI.

Tabla 26. Valores de caudales por lateral, y su distribución en el sistema de riego por microaspersión.

N. lat (camas)	LONGITUD (L)	Q asp (l/h)	N. asp por lat	Q total por lat. (l/h)	Q total por lat. (l/s)	Q total por lat. (m3/h)	Q total por lat. (m3/s)
1	4.0	49	1	49	0.01	0.05	0.00001
2	8.0	49	2	98	0.03	0.10	0.00003
3	15.2	49	4	196	0.05	0.20	0.00005
4	26.6	49	7	343	0.10	0.34	0.00010
5	34.2	49	9	441	0.12	0.44	0.00012
6	38.0	49	10	490	0.14	0.49	0.00014
7	61.0	49	16	784	0.22	0.78	0.00022
	TOTAL		49	147	0.66	2.40	0.00067

Tabla 27. Valores de caudales por lateral en el sistema de riego por aspersión.

N. lat	LONGITUD (L)	Q asp (l/h)	N. asp por lat	Q total por lat. (l/h)	Q total por lat. (l/s)	Q total por lat. (m3/h)	Q total por lat. (m3/s)
1	36.45	590	3	1770	0.49	1.77	0.0005
2	46	590	4	2360	0.66	2.36	0.0007
	TOTAL		7	4130	1.15	4.13	0.0011

Anexo 6. Diseño agronómico del sistema de riego a goteo por goteo (cultivo de tomate de árbol).

Tabla 28. Datos generales empleados en el diseño del sistema de riego por goteo.

DATOS GENERALES				
Textura:	Franco Arcilloso Arenoso	Fo	Ar	Ao
CC:	26.63	%	0.27	
PMP:	18.00	%	0.18	
Porcentaje de agotamiento	50.00	%	0.50	
VIB:	6.70	mm/h	0.0050	m/h
Velocidad del viento :	3.58	m/s		
Da:	1.45	g/cm^3		
Profundidad Efectiva (70%):	84	cm	840	mm
Ef. Aplicación GOTEÓ	90	%	0.9	
Caudal total del predio	0.66	l/s		
Conductividad hidráulica (Cei)	0.05	mmhos/cm		
CEES	12	mmhos/cm		
NR	1.93	mm/día		
Distancia entre plantas	2.00	m		
Distancia entre surcos (laterales)	2.00	m		
Coefficiente de uniformidad	89	%	0.89	
Superficie total a regar	925.50	m ²	0.09255	ha

Anexo 7. Ecuaciones utilizadas para el diseño hidráulico del sistema de riego por microaspersión.

Diseño hidráulico de la tubería lateral microaspersión

$$Hf = J * l * F$$

Pérdidas de carga lineal (J)

$$J = 1,21 \times 10^{10} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * (D)^{-4,87}$$

$$J = 1,21 \times 10^{10} * \left(\frac{0.16 \text{ l/s}}{150}\right)^{1,852} * (13.80 \text{ mm})^{-4,87}$$

$$J = 0.106$$

Coefficiente de Christiansen (F):

$$F = \left(\frac{2n}{2n-1}\right) * \left(\frac{1}{B+1}\right) + \left(\frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2}\right)$$

$$F = \left(\frac{2(16)}{(2 * 16) - 1}\right) * \left(\frac{1}{1.75 + 1}\right) + \left(\frac{(1.75 - 1)^{1/2}}{6 * 16^2}\right)$$

$$F = 0.37$$

Velocidad permisible del flujo tubería lateral:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.00016 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00015 \text{ m}^2}$$

$$V = 1.07 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Anexo 8. Ecuaciones utilizadas para determinar las pérdidas de la tubería lateral de 16 mm en el sistema de microaspersión.

Presión al origen del lateral ($\frac{Po}{\gamma}$):

$$\frac{Po}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} + \frac{3}{4}Hf + Ha$$

$$\frac{Po}{\gamma} = 15 \text{ m} + \frac{3}{4}(2.52 \text{ m}) + 0.2 \text{ m}$$

$$\frac{Po}{\gamma} = 17.09 \text{ m}$$

Presión al final del lateral ($\frac{Pn}{\gamma}$):

$$\frac{Pn}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} - \frac{1}{4}Hf$$

$$\frac{Pn}{\gamma} = 15 \text{ m} - \frac{1}{4}2.52 \text{ m}$$

$$\frac{Pn}{\gamma} = 14.37 \text{ m}$$

Presión del primer microaspersor (Ppa)

$$Ppa = \frac{Po}{\gamma} - Ha$$

$$Ppa = 17.09 \text{ m} - 0.2 \text{ m}$$

$$Ppa = 16.89 \text{ m}$$

Presión del último microaspersor (Pua)

$$Pua = Ppa - Hf$$

$$Pua = 16.89 \text{ m} - 2.52 \text{ m}$$

$$Pua = 14.37 \text{ m}$$

Presión al final del lateral $\left(\frac{Pn}{\gamma}\right)$

$$\frac{Pn}{\gamma} = \frac{Po}{\gamma} - Hf$$

$$\frac{Pn}{\gamma} = 17.09 \text{ m} - 2.52 \text{ m}$$

$$\frac{Pn}{\gamma} = 14.57 \text{ m}$$

Diferencia de presiones (ΔP)

$$\Delta P = \frac{Po}{\gamma} - \frac{Pn}{\gamma}$$

$$\Delta P = 17.09 \text{ m} - 14.57 \text{ m}$$

$$\Delta P = 2.52 \text{ m}$$

Anexo 9. Procedimiento para el diseño de la tubería secundaria en el sistema de microaspersión.

$$Hf = J * L * F$$

$$Hf = 0.04 \frac{m}{m} x 40 \text{ m} x 0.39 \text{ m}$$

$$Hf = 0.624 \text{ m}$$

$$Hf_t = Hf + \frac{Po}{\gamma} + 20\% - \Delta Z$$

$$Hf_t = 0.62 \text{ m} + 17.09 \text{ m} + 0.20 - 4 \text{ m}$$

$$Hf_t = 13.71 \text{ m}$$

Velocidad permisible del flujo tubería secundaria:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = 1.01 \frac{m}{s}$$

Anexo 10. Ecuaciones utilizadas para el diseño hidráulico del sistema de riego por aspersión para cultivo de pasto.

Diseño hidráulico de la tubería lateral para el sistema de aspersión

$$Hf = J * l * F$$

Pérdidas de carga lineal (J)

$$J = 1,21 \times 10^{10} * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * (D)^{-4,87}$$

$$J = 1,21 \times 10^{10} * \left(\frac{0.66 \text{ l/s}}{150}\right)^{1,852} * (29.40 \text{ mm})^{-4,87}$$

$$J = 0.04 \text{ m/m}$$

Coefficiente de Christiansen (F):

$$F = \left(\frac{2n}{2n-1}\right) * \left(\frac{1}{B+1}\right) + \left(\frac{(B-1)^{1/2}}{6n^2}\right)$$

$$F = \left(\frac{2(4)}{(2 * 4) - 1}\right) * \left(\frac{1}{1.75 + 1}\right) + \left(\frac{(1.75 - 1)^{1/2}}{6 * 4^2}\right)$$

$$F = 0.42$$

Velocidad permisible del flujo:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.00066 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00068 \text{ m}^2}$$

$$V = 0.97 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Anexo 11. Ecuaciones utilizadas para determinar las pérdidas de presión de la tubería lateral (disposición descendente) de 32 mm.

Presión Aspersores: inicio y final (Tubería lateral descendente)

Las presiones se las calcula a partir de las siguientes ecuaciones:

Presión al inicio del lateral ($\frac{Po}{\gamma}$)

$$\frac{Po}{\gamma} = \frac{Pa}{\gamma} + \frac{3}{4}Hf - \frac{Hg}{2} + Ha$$

$$\frac{Po}{\gamma} = 30 \text{ m} + \frac{3}{4}(0.86 \text{ m}) - \frac{2.50 \text{ m}}{2} + 1.20 \text{ m}$$

$$\frac{Po}{\gamma} = 30.60 \text{ m}$$

Presión al final del lateral ($\frac{Pn}{\gamma}$)

$$\frac{Pn}{\gamma} = \frac{Po}{\gamma} - Hf + Hg - Ha$$

$$\frac{Pn}{\gamma} = 30.60 \text{ m} - 0.86 \text{ m} + 2.50 \text{ m} - 1.20 \text{ m}$$

$$\frac{Pn}{\gamma} = 31.04$$

Presión del primer aspersor (Ppa)

$$Ppa = \frac{Po}{\gamma} - Ha$$

$$Ppa = 30.60 \text{ m} - 1.20$$

$$Ppa = 29.40 \text{ m}$$

Diferencia de presiones (ΔP)

$$\Delta P = \frac{Po}{\gamma} - \frac{Pn}{\gamma}$$

$$\Delta P = 29.40 \text{ m} - 29.06 \text{ m}$$

$$\Delta P = 0.34 \text{ m}$$

Presión del último aspersor (P_{ua})

$$P_{ua} = P_{pa} - H_f$$

$$P_{ua} = 29.40 \text{ m} - 0.34 \text{ m}$$

$$P_{ua} = 29.06 \text{ m}$$

Anexo 12. Ecuaciones utilizadas para el diseño de la tubería secundaria del aspersor.

$$H_f = J * L * F$$

$$H_f = 0.04 \frac{\text{m}}{\text{m}} \times 89.00 \text{ m}$$

$$H_f = 3.56 \text{ m}$$

$$H_{f_t} = H_f + \frac{P_o}{\gamma} + 20\% - \Delta Z$$

$$H_{f_t} = 3.56 \text{ m} + 30.60 \text{ m} + 0.20 - 13 \text{ m}$$

$$H_{f_t} = 21.36 \text{ m}$$

Velocidad permisible del flujo tubería secundaria:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$V = \frac{0.000166 \text{ m}^3/\text{s}}{0.00015 \text{ m}^2}$$

$$V = 0.97 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Anexo 13. Diseño hidráulico del sistema de riego por goteo.

Tabla 29. Características de fábrica del gotero seleccionado.

Caudal del emisor (l/h)	10
Presión mínima (m)	4
Presión máxima (m)	25

Tabla 30. Valores calculados de la tubería lateral del sistema de riego por goteo para determinar las pérdidas.

Coefficiente C (°T) Blasius	0.466
Longitud lateral (m)	42
Separación de emisores	2
Longitud equivalente (m)	3.99
Diámetro lateral (mm)	13.6
Pendiente lateral (%)	0

Tabla 31. Resultados de la tubería lateral del sistema de riego por goteo.

Número de emisores lateral (unidad)	21
Caudal inicio lateral (l/h)	210
Coefficiente Christiansen	0.388
Coefficiente M de Blasius Lateral	0.000002
Coefficiente Mayorante	2.99
Pérdidas de carga lateral (m)	1.0875
Desnivel en lateral (%)	0
Variación de presión en lateral (m)	1.087
Presión inicio lateral (m)	5.09

Anexo 14. Diseño hidráulico de la tubería secundaria riego por goteo.

Tabla 32. Valores iniciales para el diseño de la tubería secundaria del sistema de riego por goteo.

Longitud terciaria (m)	22
Separación entre laterales (m)	2
Pendiente terciaria (%)	-29
Km terciaria	1.75

Tabla 33. Resultados de la tubería secundaria.

Número de laterales en terciaria (unidad)	11.00
Caudal inicio terciaria (l/h)	2310.00
Desnivel en terciaria (%)	-6.38
Pérdida de carga terciaria	26.29
Coefficiente de Christiansen	0.41
Diámetro mínimo terciaria (mm)	13.27
Diámetro nominal (mm)	21.00
Diámetro interior (mm)	17.60
Coefficiente M terciaria	0.00
Pérdida de carga terciaria (m)	6.87
Variación de presión terciaria (m)	0.49
Presión inicio terciaria (m)	5.57

Anexo 15. Valores de volúmenes registrados para la evaluación del coeficiente de uniformidad por el método de Cristhiansen para el sistema de riego por microaspersión.

Sector	n	Volumen (cm ³)	Desviación Estándar	Sector	n	Volumen (cm ³)	Desviación Estándar	Sector	n	Volumen (cm ³)	Desviación Estándar
ZONA A	1	214	10	ZONA A	53	192	11	ZONA B	105	187	16
	2	196	8		54	204	0		106	162	41
	3	207	4		55	186	18		107	222	19
	4	189	15		56	161	43		108	241	37
	5	164	40		57	221	17		109	269	66
	6	224	20		58	239	36		110	206	2
	7	242	39		59	268	64		111	197	6
	8	271	67		60	204	0		112	161	43
	9	207	4		61	196	8		113	192	11
	10	199	5		62	159	45		114	236	32
	11	162	41		63	191	13		115	226	22
	12	194	10		64	234	30		116	199	5
	13	237	34		65	224	20		117	216	12
	14	227	24		66	197	6		118	232	29
	15	201	3		67	214	10		119	191	13
	16	217	14		68	231	27		120	199	5
	17	234	30		69	189	15		121	182	21
	18	192	11		70	197	6		122	191	13
	19	201	3		71	181	23		123	171	33
	20	184	20		72	189	15		124	191	13
	21	192	11		73	169	35		125	164	40
	22	172	31		74	189	15		126	206	2
	23	192	11		75	162	41		127	222	19
	24	166	38		76	204	0		128	204	0
	25	207	4		77	216	12		129	216	12
	26	217	14		78	192	11		130	197	6
	27	199	5		79	204	0		131	172	31
	28	211	7		80	186	18		132	232	29
	29	192	11	81	161	43	133		251	47	
	30	167	36	82	221	17	134		279	76	
	31	227	24	83	239	36	135		216	12	
	32	246	42	84	268	64	136		207	4	
	33	274	71	85	204	0	137		171	33	
	34	211	7	86	196	8	138		202	1	
	35	202	1	87	159	45	139		246	42	
	36	166	38	88	191	13	140		236	32	
	37	197	6	89	234	30	141		209	5	
	38	241	37	90	224	20	142		226	22	
	39	231	27	91	197	6	143		242	39	
	40	204	0	92	214	10	144		201	3	
	41	221	17	93	231	27	145		209	5	
	42	237	34	94	189	15	146		192	11	
	43	196	8	95	197	6	147		201	3	
	44	204	0	96	181	23	148		181	23	
	45	187	16	97	189	15	149		201	3	
	46	196	8	98	169	35	150		174	30	
	47	176	28	99	189	15	151		216	12	
	48	196	8	100	162	41	152		201	3	
	49	169	35	101	204	0	153		182	21	
	50	211	7	102	212	9	154		194	10	
	51	209	5	103	194	10	155		176	28	
	52	212	8	104	206	2	156		151	53	

n = 156	VOLUMEN	DESVIACIÓN STANDARD
TOTAL	31764	3131
PROMEDIO	204	
CUc=	90.1	%

Anexo 16. Valores de volúmenes registrados para la evaluación del coeficiente de uniformidad de riego para el sistema de riego por goteo.

LATERAL	N° goteros	N° goteros/lateral	Q (ml/3min)	Q (L/H)	Xi	Media
	1	2	48.5	0.58	0.059	0.523
Primer lateral	2	4	40.0	0.48	0.043	0.523
	3	7	37.0	0.44	0.079	0.523
	4	10	36.5	0.44	0.085	0.523
	5	2	48.4	0.58	0.058	0.523
Lateral 1/3	6	4	47.2	0.57	0.043	0.523
	7	7	46.34	0.56	0.033	0.523
	8	10	45.5	0.55	0.023	0.523
	9	2	47.4	0.57	0.046	0.523
Lateral 2/3	10	4	43.2	0.52	0.005	0.523
	11	7	42.4	0.51	0.014	0.523
	12	10	41.0	0.49	0.031	0.523
	13	2	46.5	0.56	0.035	0.523
Último lateral	14	4	44.3	0.53	0.009	0.523
	15	7	42.3	0.51	0.015	0.523
	16	10	40.8	0.49	0.033	0.523
	Promedio: \bar{u}			0.52		
	SUMA Xi			0.61		

n	16
n x \bar{u}	8.36808
CU=	92.7
q25	0.479
ED=	91.5
So DE	0.046
CV=	0.088

Anexo 17. Presupuesto general.

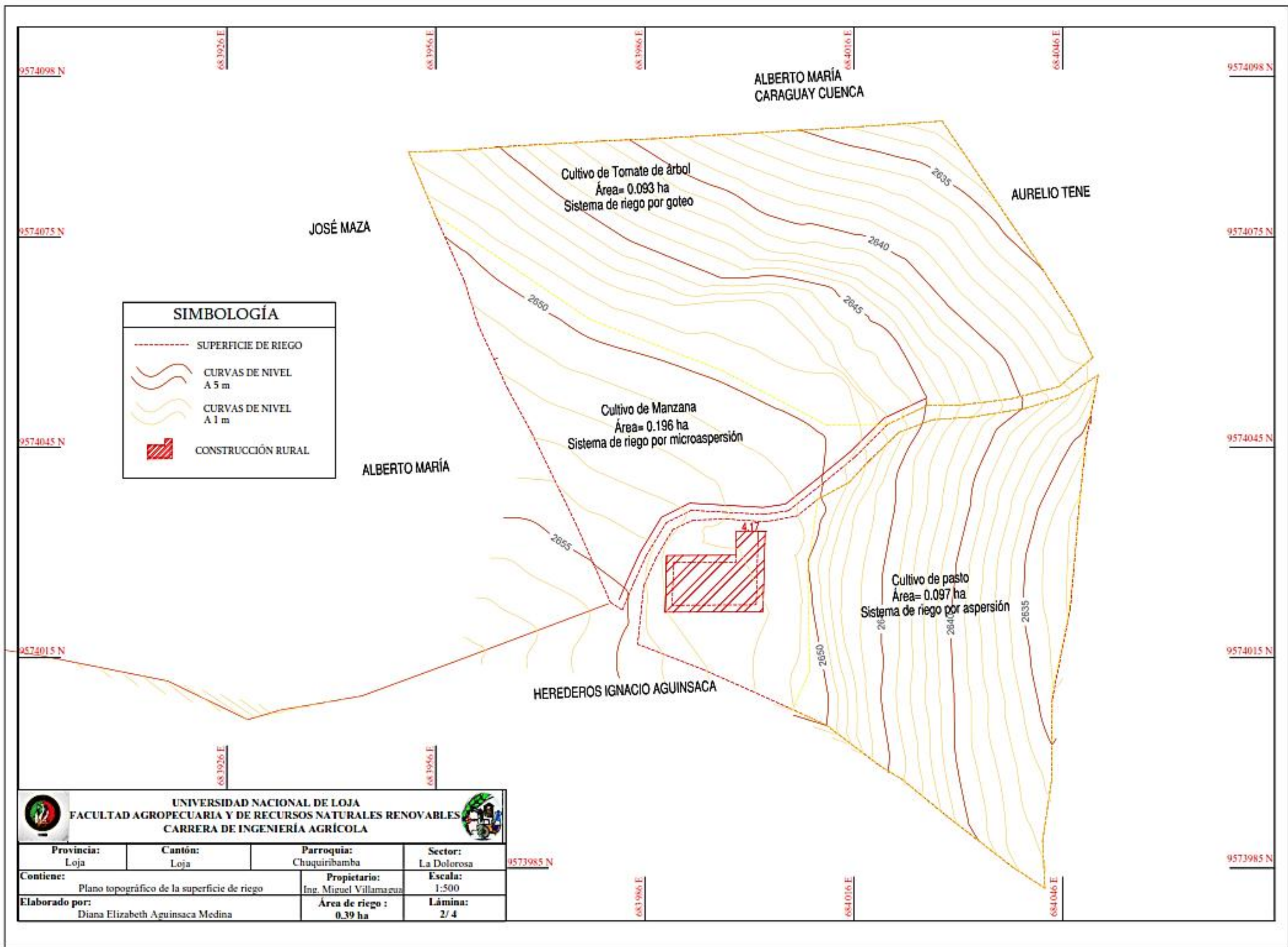
CONCEPTO	CANT.	U	PRECIO	TOTAL
TUBERÍAS Y EMISORES				
ASPERSOR NAANDANJAIN 5022 (M)	4	U	4.34	17.36
ADAPTADOR ER 50 MM X 1 1/2 PVC	2	U	0.97	1.94
ADAPTADOR ER 50 MM X 1 1/2 PVC	2	U	0.39	0.78
ADAPTADOR ER 50 MM X 1 1/2 PVC	100	U	0.53	53.00
EMPAQUE GM 16 MM CAUCHO	7	U	0.12	0.84
TUBO TG 32 MM X 1.25 MPA X 6 MTS PVC	34	U	3.32	112.88
HIDROPLAS PP 16 MM X 0.4 MPA	200	U	0.14	28.00
FINAL GM 16 MM PARA CINTA	7	U	0.22	1.54
HIDROPLAS PP 16 MM X 0.4 MPA X METRO	630	U	0.14	88.20
FINAL GM 12 MM PARA CINTA	322	U	0.21	67.62
CONECTOR GM 16 MM INICIAL FLEX	7	U	0.14	0.98
ADAPTADOR ER 1/2 X 1 PN 16 PVC	3	U	0.39	1.17
GOTERO NETAFIN 1.0 L/H	231	U	0.11	25.41
ADAPTADOR ER 32 MM X 1 PN PVC	2	U	0.39	0.78
TUBO TG 1 X 6 MTS C ROSCA PVC	1	U	3.75	3.75
FINAL GM 16 MM PARA CINTA	14	U	0.22	3.08
CONECTOR GM 16 MM INICIAL FLEX	14	U	0.14	1.96
HIDROPLAS 12 MM X 0.4 MPA	400	U	0.08	33.64
MICRO AZUDRAINTEG AZUL CON ESTACA	49	U	1.69	82.81
EMPAQUE GH 16 MM CAUCHO	14	U	0.12	1.68
TAPA ER 1 H PVC ROSCABLE	3	U	0.32	0.96
ADAPTADOR GM 1 FLEX MACHO	4	U	0.35	1.40
ADAPTADOR ER 32 MM X 1 PN PVC	1	U	0.39	0.39
ADAPTADOR GM 1 FLEX M	1	U	0.35	0.35
ADAPTADOR GM 1 FLEX MACHO	1	U	3.35	3.35
VÁLVULAS				
MANOMETROS GLICERINA 100 PSI	2	U	15.00	30.00
VALVULA MH REDUCTORA PRESION EROBRA	1	U	48.35	48.35
FILTRO 1 1/2 X 120 PSI TIPO DISCO	1	U	23.25	23.25
UNIVERSAL ER 32 PVC	1	U	.47	1.47
ABRAZADERA 32 MM	5	U	0.55	2.75
VALVULA ER BOLA RR 1 UNIVERSAL	2	U	6.34	12.68
VALVULA AIRE CINETICA ROSCADA	2	U	19.29	38.58
VALVULA COMPUERTA LATON	1	U	17.23	17.23
UNIVERSAL ER 1 R U-PVC	1	U	1.68	1.68
VENTURY GM 16 MM X 12 MM X 16 MM	1	U	20.20	20.20
UNIVERSAL ER 1 2 POLIPROPILENO	1	U	1.26	7.50
ACCESORIOS				
CODO PVC 90°, 32 MM	4	U	0.51	2.04
CODO PVC 90°, 1 2 X 90 POLIPROPILENO ROSC.	2	U	0.29	0.58
CODO PVC 45°, 32 MM	3	U	0.42	1.26

TEE ER 32 MM PN 16 EC PVC	2	U	0.67	1.34
COLLARIN REDUCCION DE 1 A 3/4	1	U	1.00	1.00
TAPA ER 1H 40 PVC ROSCABLE	2	U	0.32	0.64
MONTURA 32 MM X 1 2 TORNILLOS	7	U	0.96	6.72
NEPLO 1/2 X 0.3	7	U	1.19	8.33
NEPLO 1/2 X 1.2	7	U	1.99	13.93
UNION 1 2 POLIPROPILENO	14	U	0.26	.64
REDUCTOR 50 X 32 E C PVC	2	U	0.63	1.26
TEE GM 14 MM X 12 MM X 16 MM	231	U	0.30	69.30
TAPA ER 1 2 M POLIPROPILENO	7	U	0.12	0.84
PEGA TG 705 GALON WELD-ON	1	U	9.39	9.39
CINTA TEFLON AMARILLA REFORZADA	3	U	0.73	2.19
GRIFO DE 3/4	1	U	5.00	5.00
VARIOS				
DESBROCE Y LIMPIEZA	0.39	Ha	85.00	33.15
REPLANTEO Y NIVELACIÓN	0.04	Km	430.00	17.20
EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR A MANO	101	m3	10.00	1.010.00
TOTAL PRESUPUESTO CON IVA				1.932.90

PRESUPUESTO DEL DISEÑO

CONCEPTO	VALOR TOTAL
A. SUELDOS	394.0
A1. PERSONAL TECNICO	394.0
A2. PERSONAL AUXILIAR	60.00
B. CARGAS SOCIALES	30.00
B1. PERSONAL TECNICO	0.00
B2. PERSONAL AUXILIAR	30.00
C. VIAJES Y VIATICOS	150.0
D. SERVICIOS	30.00
E. ARRENDAMIENTOS	0.00 .
F. EQUIPOS E INSTALACIONES	100.0.
G. SUMINISTROS	15.00
H. SUBCONTRATOS	115.0
TOTAL	\$894.0

Anexo 18. Plano topográfico del sector a regar.



SIMBOLOGÍA	
	SUPERFICIE DE RIEGO
	CURVAS DE NIVEL A 5 m
	CURVAS DE NIVEL A 1 m
	CONSTRUCCIÓN RURAL



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Provincia: Loja	Cantón: Loja	Parroquia: Chuquiribamba	Sector: La Dolorosa
Contiene: Plano topográfico de la superficie de riego		Propietario: Ing. Miguel Villamaeua	Escala: 1:500
Elaborado por: Diana Elizabeth Aguinsaca Medina		Área de riego : 0.39 ha	Lámina: 2/ 4

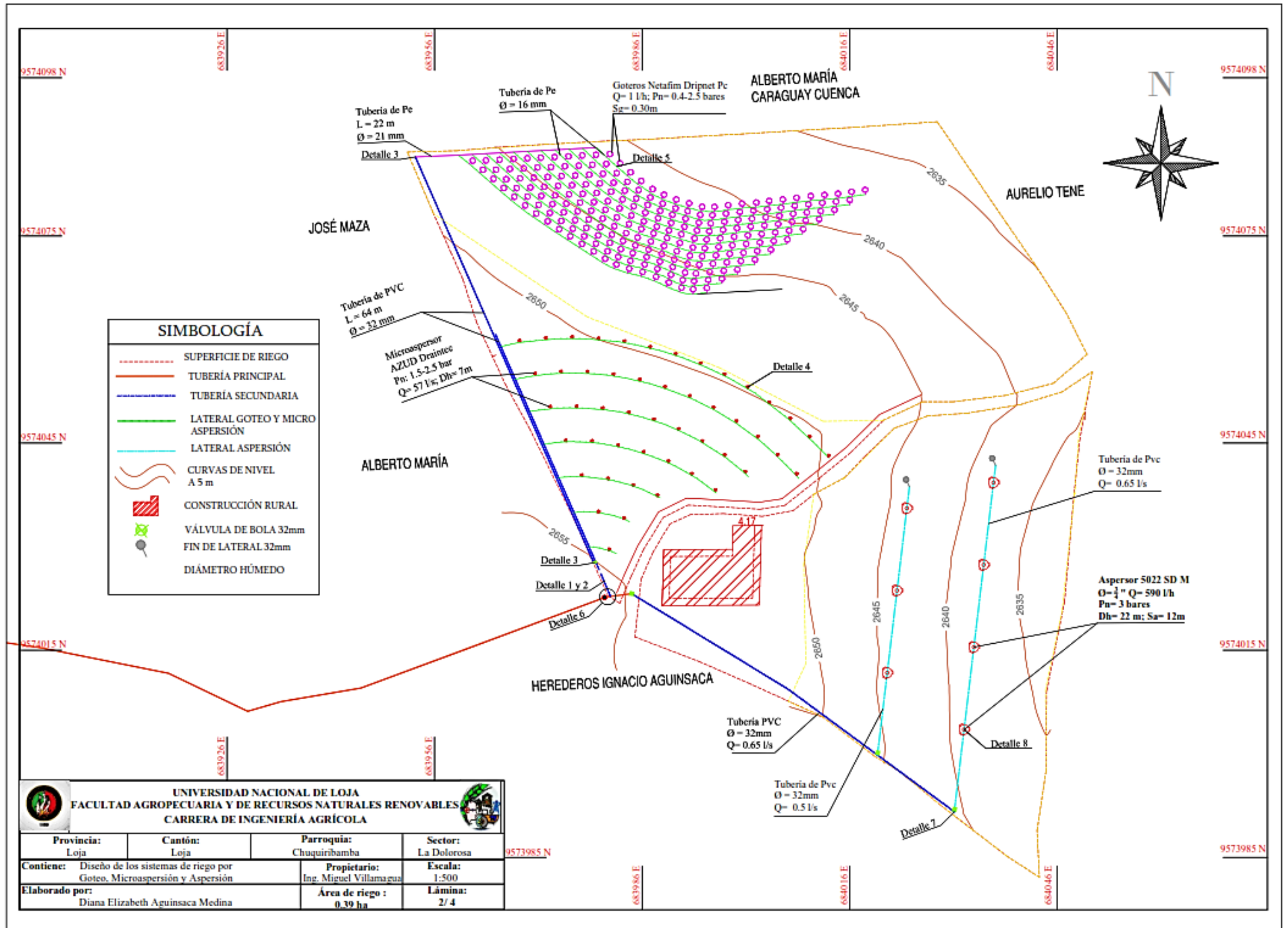
9573985 N

6831986 E

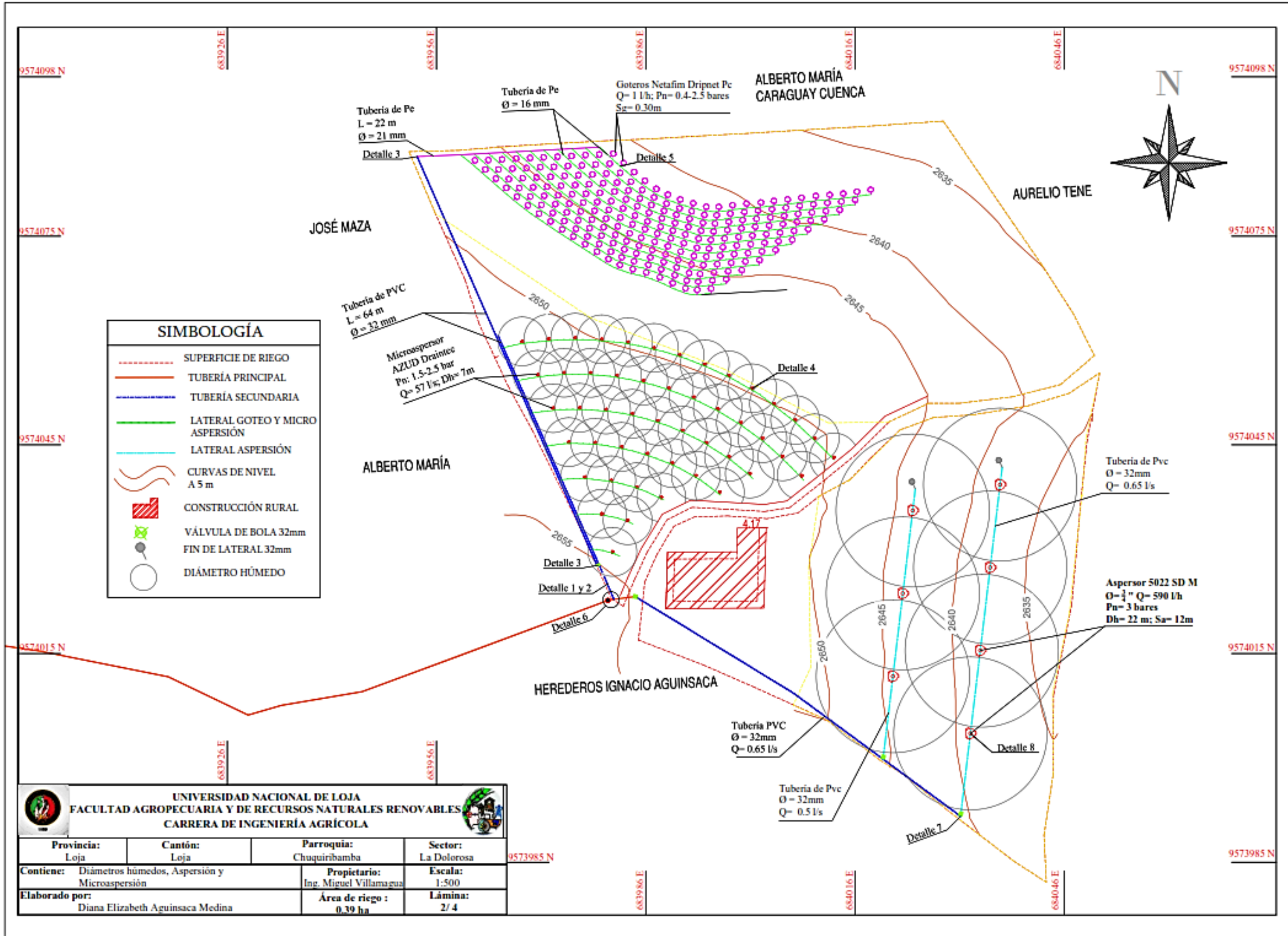
684016 E

684046 E

Anexo 19. Diseño de los sistemas de riego por aspersión, microaspersión y goteo.

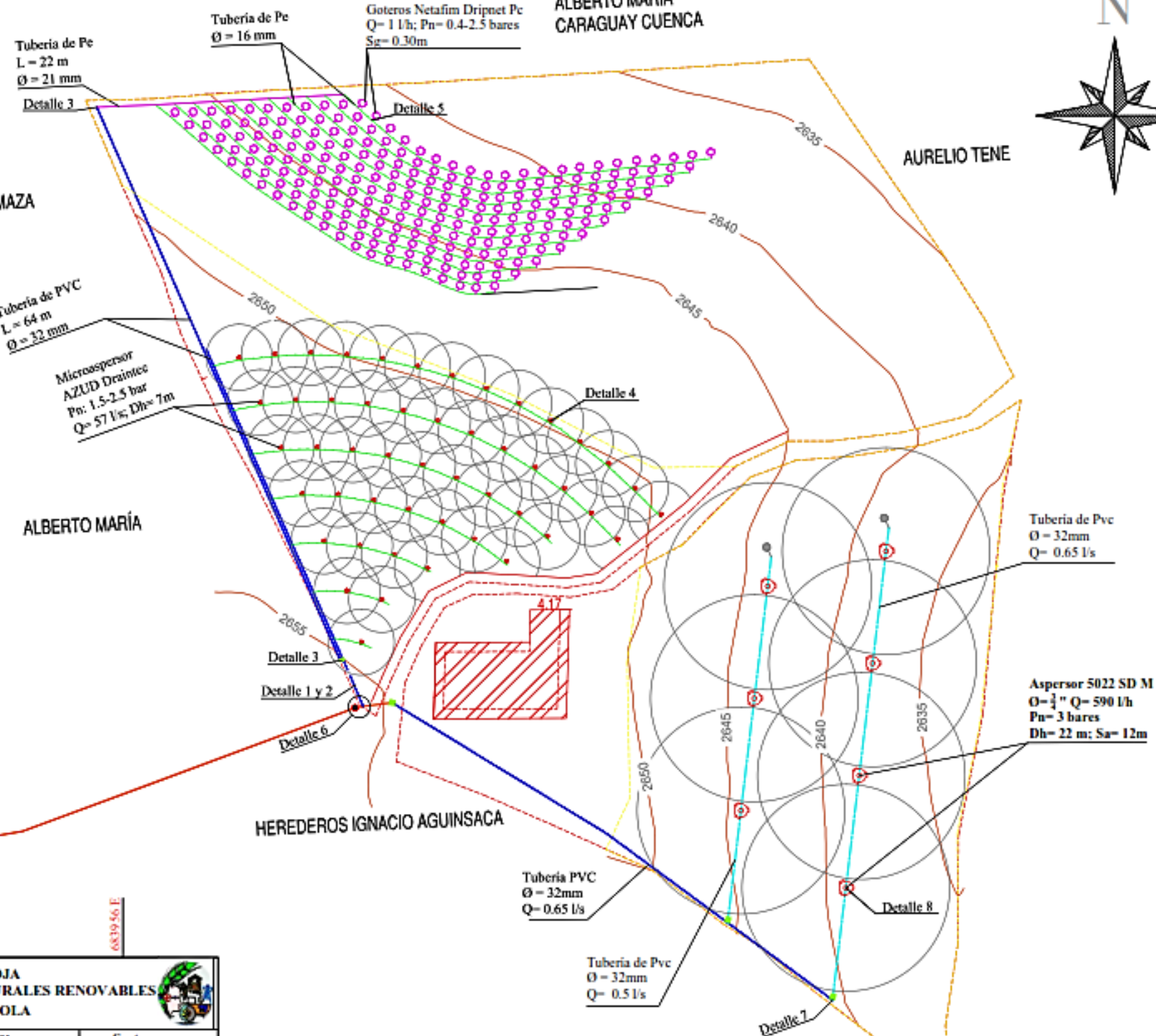


Anexo 20. Diámetros húmedos de los sistemas de riego por aspersión y microaspersión.



SIMBOLOGÍA

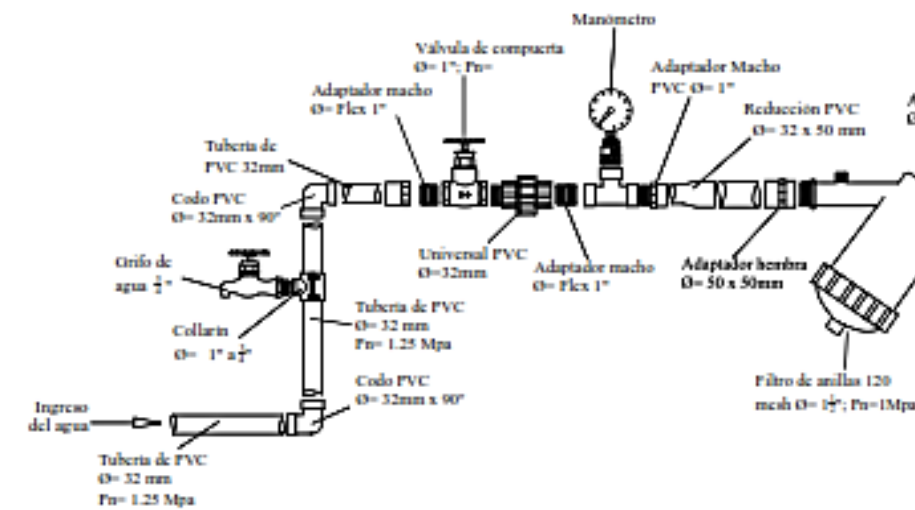
	SUPERFICIE DE RIEGO
	TUBERÍA PRINCIPAL
	TUBERÍA SECUNDARIA
	LATERAL GOTEO Y MICRO ASPERSIÓN
	LATERAL ASPERSIÓN
	CURVAS DE NIVEL A 5 m
	CONSTRUCCIÓN RURAL
	VÁLVULA DE BOLA 32mm
	FIN DE LATERAL 32mm
	DIÁMETRO HÚMEDO



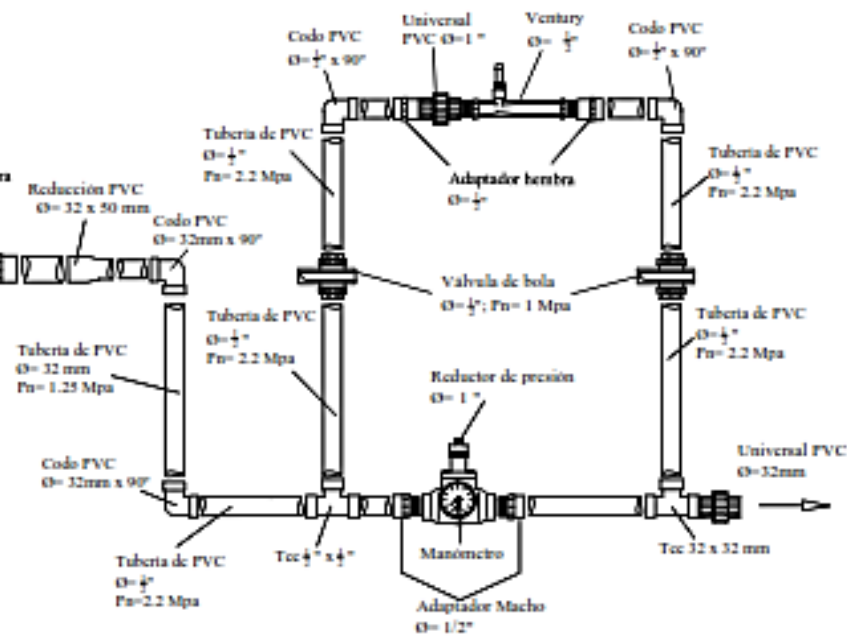
Anexo 21. Detalles constructivos del sistema de riego por microaspersión y goteo.

Detalles técnicos del sistema de riego por goteo y micro aspersión

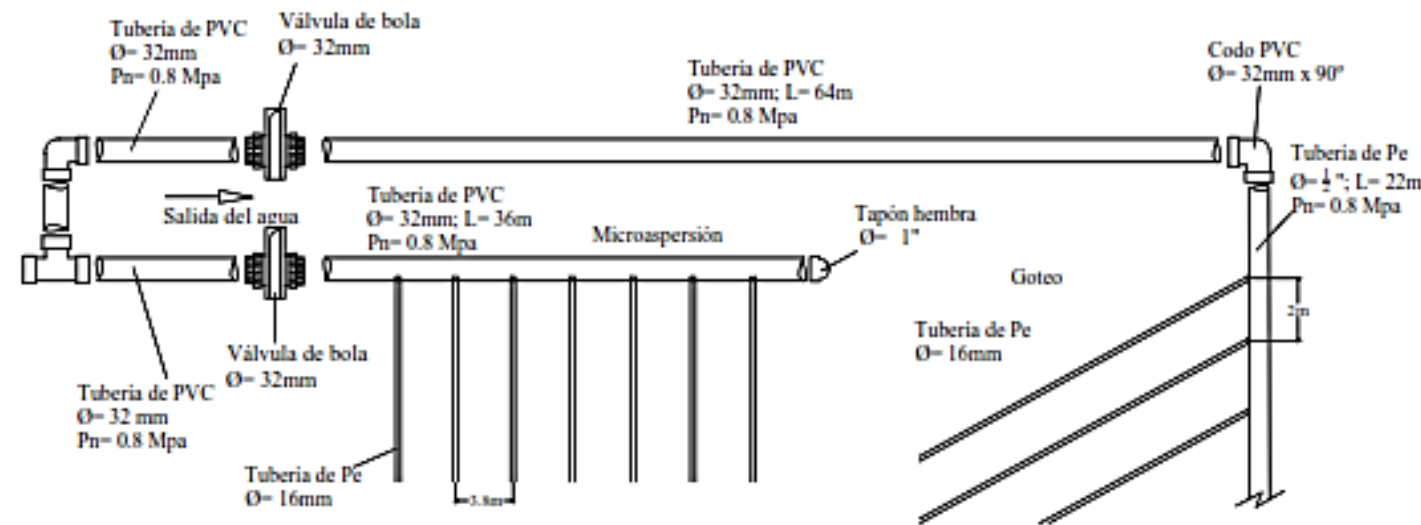
Detalle 1.
Cabezal de control.



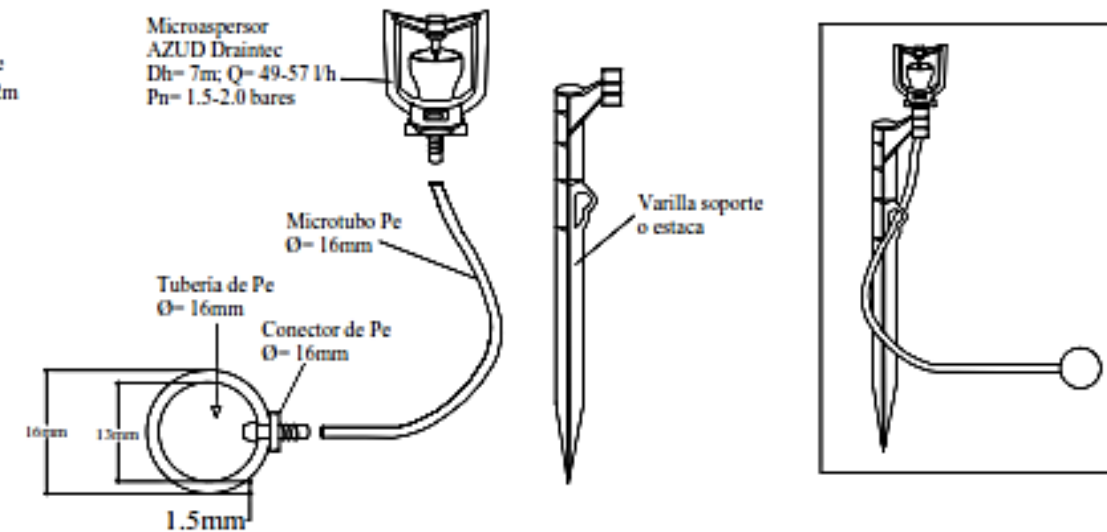
Detalle 2.
Equipo de fertirrigación



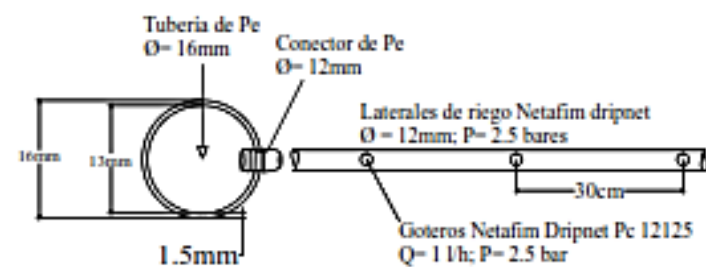
Detalle 3.
Salida desde el equipo de fertirrigación a las tuberías secundarias.



Detalle 4 . Inserción del conector a la tubería del microaspersor.



Detalle 5 . Inserción del conector a la tubería de goteo.

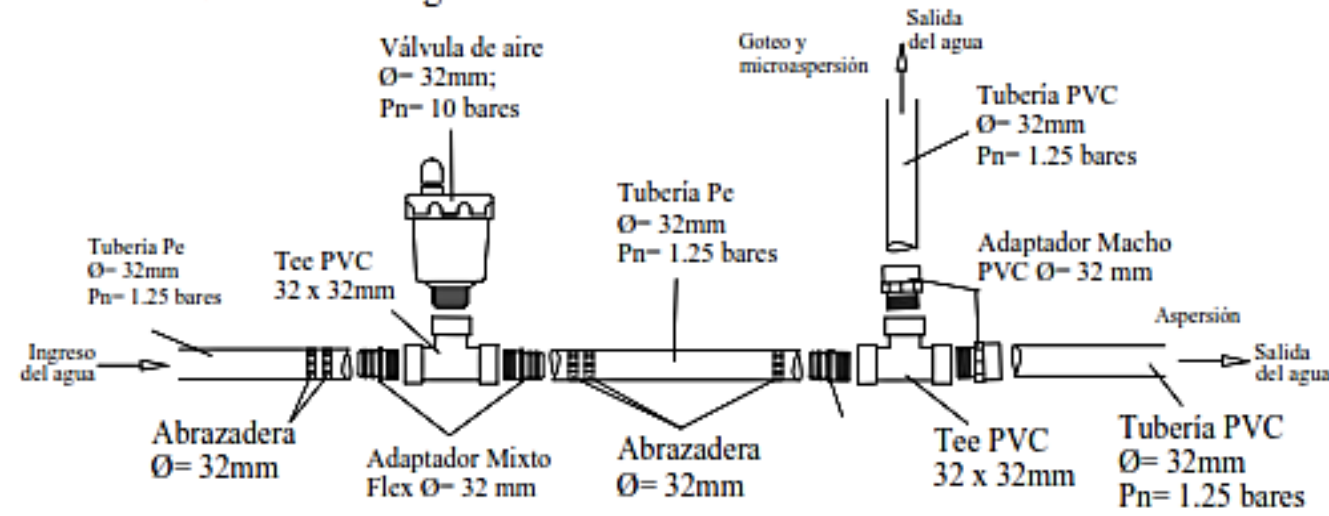


UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA			
Provincia: Loja	Cantón: Loja	Parroquia: Chuquiribamba	Sector: La Dolorosa
Contiene: Diseño del sistema de riego por goteo, microaspersión y aspersión		Propietario: Ing. Miguel Villamaña	Escala: 1:500
Elaborado por: Diana Elizabeth Aguinosa Medina		Área de riego: 0.29 ha	Lámina: 2/4

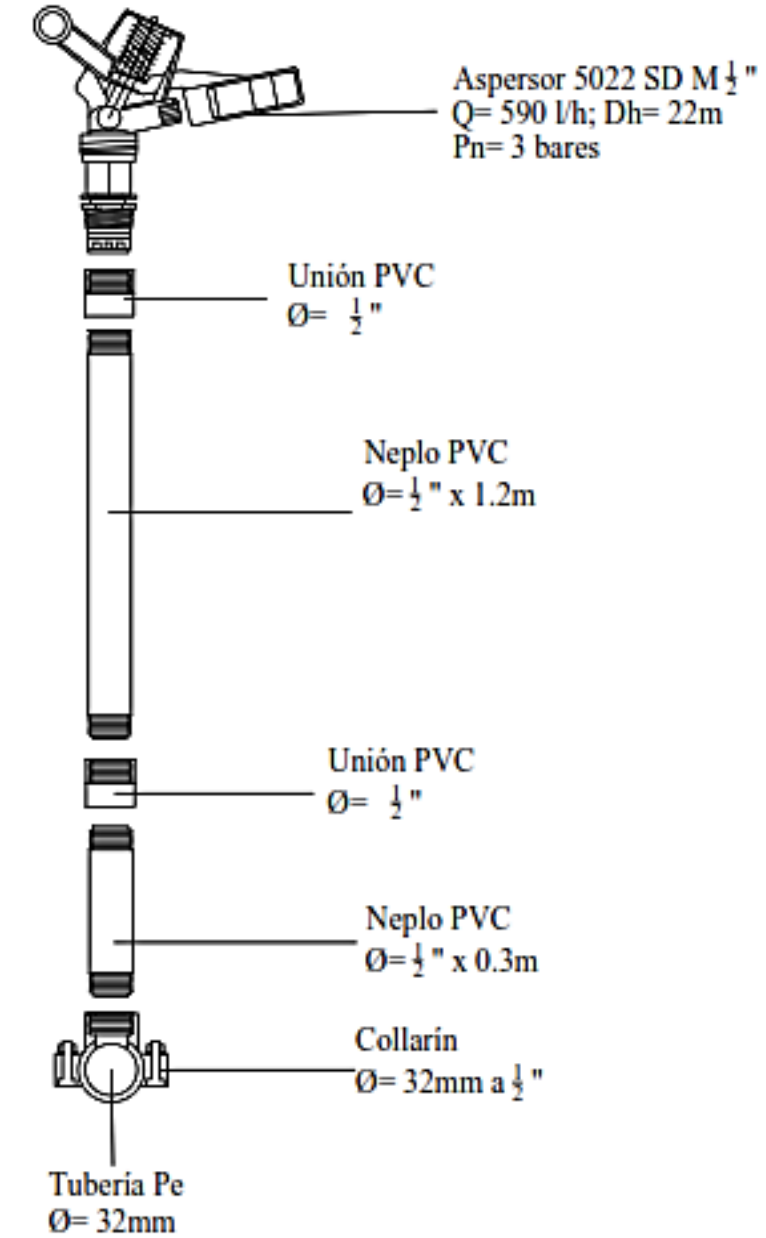
Anexo 22. Detalle constructivo del sistema de riego por aspersión.

Detalles técnicos del sistema de riego por aspersión

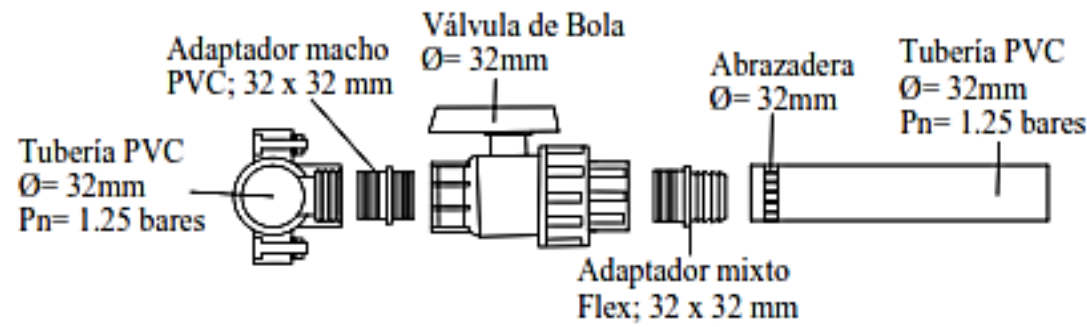
Detalle 6 . Entrada del agua



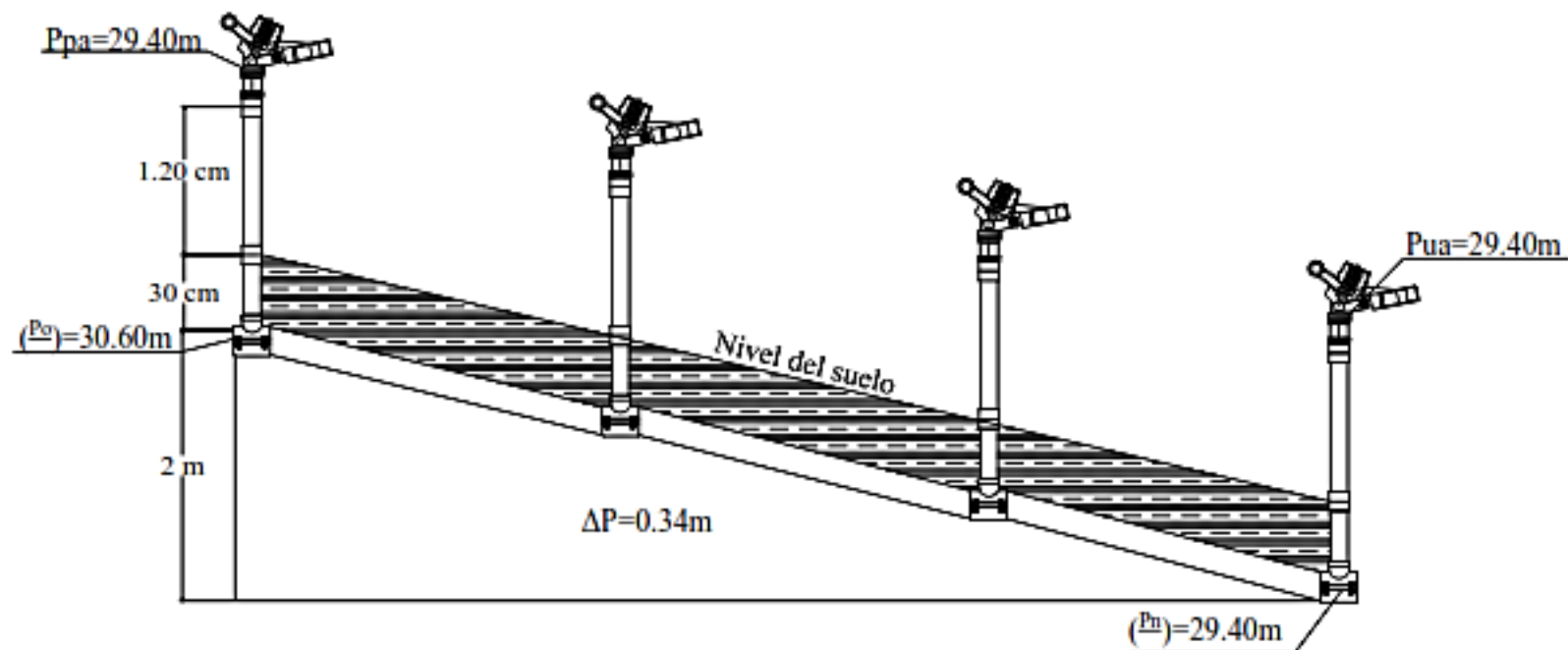
Detalle 8 . Aspersor y portaspersor



Detalle 7 . Conexión del lateral a la tubería secundaria



Presión en primer y el último aspersor



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA			
Provincia: Loja	Cantón: Loja	Parroquia: Chuquiribamba	Sector: La Dolorosa
Contiene: Detalles técnicos del sistema de riego por aspersión		Propietario: Ing. Miguel Villamaña	Escala: 1:500
Elaborado por: Diana Elizabeth Aguinsaca Medina		Área de riego : 0.097 ha	Lámina: 2/4

