



Diagnóstico y rediseño de los sistemas de la red principal de riego, drenaje agrícola y drenaje vial para la Hacienda el Prado, IASA I.

Chávez Egas, Andrea Elizabeth y Mendoza Simbaña, Dayana Maricela

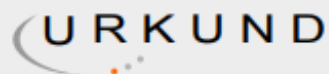
Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniera Civil

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto, PhD.

15 julio del 2021



Urkund Analysis Result

Analysed Document: Tesis Andrea Chávez y Dayana Mendoza Rev DBG
19-07-2021.docx (D110596657)
Submitted: 7/19/2021 9:03:00 PM
Submitted By: drbolanios@espe.edu.ec
Significance: 1 %

Sources included in the report:

1423456008_TESINA.pdf (D13173771)
TESIS COMPLETA.pdf (D28334467)
<https://www.aiu.edu/applications/DocumentLibraryManager/upload/1-1212013-173222-454779029.docx>
<https://docplayer.es/79548954-Escuela-politecnica-del-ejercito-carrera-de-ingeniera-civil.html>

Instances where selected sources appear:

6

Aprobado: 19/07/2021

**DARIO
ROBERTO
BOLANOS
GUERRON**

Firmado
digitalmente por
DARIO ROBERTO
BOLANOS
GUERRON
Fecha: 2021.07.19
14:25:27 -05'00'



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, **Diagnóstico y rediseño de los sistemas de la red principal de riego, drenaje agrícola y drenaje vial para la Hacienda el Prado, IASA** I fue realizado por la señoritas **Chávez Egas, Andrea Elizabeth y Mendoza Simbaña, Dayana Maricela** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 20 de julio de 2021

Firma:

DARIO
ROBERTO
BOLANOS
GUERRON

Firmado digitalmente por
DARIO ROBERTO
BOLANOS GUERRON
Fecha: 2021.07.20
10:56:46 -05'00'

Ing. Bolaños Guerrón, Darío Roberto Ph.D.

CC: 171506593



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Responsabilidad de Auditoría

Nosotras, **Chávez Egas, Andrea Elizabeth** y **Mendoza Simbaña, Dayana Maricela**, con cédulas de ciudadanía N°1726071366 y N°1724971690 respectivamente, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Diagnóstico y rediseño de los sistemas de la red principal de riego, drenaje agrícola y drenaje vial para la Hacienda el Prado, IASA I”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 20 de julio del 2021

Chávez Egas Andrea Elizabeth

C.C: 1726071366

Mendoza Simbaña, Dayana Maricela

C.C: 1724971690



Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción

Carrera de Ingeniería Civil

Autorización de Publicación

Nosotras, **Chávez Egas, Andrea Elizabeth** y **Mendoza Simbaña, Dayana Maricela** con cédulas de ciudadanía N°1726071366 y N°1724971690 respectivamente, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Diagnóstico y rediseño de los sistemas de la red principal de riego, drenaje agrícola y drenaje vial para la Hacienda el Prado, IASA I”** en Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 20 de julio del 2021

Chávez Egas Andrea Elizabeth

C.C: 1726071366

Mendoza Simbaña, Dayana Maricela

C.C: 1724971690

Dedicatoria

Dedico este logro alcanzado a mi mami, porque ella es quien hizo de mi la persona que soy ahora, llena de cualidades y virtudes, que me han impulsado a esforzarme y ser responsable en el cumplimiento de mis objetivos y aunque no estés físicamente, vives eternamente en mis recuerdos y en mi corazón, siempre serás la mano que me sostiene y la luz que me ilumina.

A mi hermana Silvi, por ser el pilar fundamental en mi formación personal y profesional, que sin importar las circunstancias siempre me brindaste el cariño ilimitado e incondicional, gracias por ser mi cómplice y mi mejor amiga en toda esta aventura llamada vida.

A mi hermana Carito, que me ha acompañado a lo largo de esta etapa, gracias por brindarme tu apoyo moral y motivarme a seguir adelante, hasta en los momentos más difíciles de mi vida.

Andrea Elizabeth Chávez Egas

Dedicatoria

Dedico este logro al forjador de mi camino, el que siempre me acompaña en momentos buenos y malos, Dios.

A mi madre quien es la persona que más admiro y amo, mi mayor motivación y apoyo en todo momento, todo esto es gracias a ti, por tus desvelos, esfuerzos, tu amor de madre y sobre todo por no dejarme caer nunca. También quiero honrar a mi padre, por darme una carrera, por creer en mí y por enseñarme el valor de la responsabilidad.

A mi hermano que a pesar de su corta edad siempre me defendió y me brindo su cariño absoluto, gracias por ser mi mayor inspiración, mi amigo incondicional y sobre todo mi ángel que desde el cielo guías mi camino.

Dayana Maricela Mendoza Simbaña

Agradecimiento

Agradezco de todo corazón a mi familia por ser mi apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y debilidad; por los consejos, valores y principios que me han inculcado. A mi mejor amigo de cuatro patitas Max, por acompañarme en todos mis desvelos que me ha costado para cumplir mis sueños, anhelos, metas y llegar a ser la persona que soy hoy en día, ahora que he finalizado esta etapa de mi vida universitaria, podríamos decir que es solo el principio de algo más grande.

A nuestro tutor Dr. Darío Bolaños por su apoyo, guía y orientación en el desarrollo de nuestro proyecto de tesis.

De manera especial, agradecemos a la Ing. María Soledad Aguirre y al Sr. Fernandito, por facilitarnos los medios para poder culminar con éxito nuestro proyecto de titulación.

A nuestro amigo Jefferson Campos, por su gran amistad y por su generosa colaboración nos ayudó con la realización de este trabajo.

A Dayana, mi compañera de tesis, gracias por tu paciencia, tu compañía y tu apoyo que me brindaste durante toda mi vida universitaria.

Finalmente quiero agradecer a mis amigos que sin lugar a duda se han convertido en cómplices de momentos inolvidables.

Andrea Elizabeth Chávez Egas

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y fortaleza para superar obstáculos y dificultades a lo largo de mi vida.

A mis padres, Jenny y Lenin que me han demostrado que con esfuerzo y perseverancia puedo lograr todo lo que me proponga, por su apoyo incondicional y por cuidar de mí todos estos años, porque gracias a ellos pude culminar esta etapa de mi vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por abrirme sus puertas y conjuntamente con todo su personal docente formarme como persona y profesional de excelencia, de manera especial a nuestro director de tesis, Dr. Darío Bolaños, por su esfuerzo y dedicación quien con su conocimiento, experiencia y paciencia a contribuido a que podamos culminar exitosamente este proyecto de titulación.

A mi querida amiga y compañera de tesis Andrea Chávez quien fue parte fundamental en el desarrollo de este proyecto, por haber logrado nuestro gran objetivo con mucha perseverancia y por todo su cariño y apoyo.

A mis amigos, con quienes he vivido esta maravillosa aventura y aunque hoy nos toca cerrar un capítulo más no puedo dejar de agradecerles por su apoyo incondicional.

A mi amigo, Pepe por su cariño, ayuda y confianza, por compartir mis momentos de alegría y tristeza, y por demostrarme que siempre podré contar con él.

Finalmente, a la Ing. Soledad Aguirre y Sr. Fernandito, por todo su apoyo y colaboración brindada, durante la elaboración de nuestro proyecto de titulación. Así mismo, a mis amigos Ing. Jefferson e Ing. Peter quienes se han ganado un lugar especial en mi corazón, por la gran calidad humana, apoyo y amistad.

Dayana Maricela Mendoza Simbaña

TABLA DE CONTENIDO

Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Índice de Tablas.....	16
Índice de Figuras	21
Resumen.....	24
Abstract.....	25
Capítulo I.....	26
Introducción.....	26
Antecedentes	27
Planteamiento del Problema.....	30
Justificación e Importancia del Proyecto	32
Objetivos Generales y Específicos	33
<i>Objetivo General</i>	33
<i>Objetivos Específicos</i>	33
Capítulo II.....	35
Materiales y Métodos.....	35
Ubicación General	35
Aspectos Físicos.....	38
Descripción del Sitio.....	38

Localización del sitio de captación.	42
Geología	43
Suelo	43
Vegetación.....	44
Aspectos Naturales.....	45
Características Climatológicas e Hidrológicas	45
Temperatura	45
Precipitación	49
Evaporación.....	52
Humedad relativa	53
Presión.....	54
Viento.....	55
Información de la cuenca hidrográfica.....	55
Ubicación	55
Delimitación Hidrográfica de la Cuenca.....	57
Geomorfología de la Cuenca	58
Calidad de Agua.....	59
Puntos de Muestreo	59
Toma de Muestra	60
Parámetros por analizar en el agua de riego.....	60
Parámetros de análisis de calidad de agua empleada en el riego.....	63

	12
<i>Salinidad</i>	63
<i>Infiltración</i>	64
<i>Alcalinidad</i>	65
<i>Comportamiento Del Ph</i>	66
<i>Toxicidad</i>	66
Sistemas de la red principal de riego y drenaje	67
Sistema de Riego	67
Aforamiento del caudal en la conducción	67
Factores por considerar en el Sistema de Riego	68
Componentes de un Sistema de Riego	69
Sistema de Drenaje Vial	70
Red de Drenaje Vial	70
Obras de Drenaje	70
Obras Complementarias	71
Sistema de Drenaje Agrícola	72
Drenaje Agrícola	72
Drenaje Superficial	73
Capítulo III	74
Resultados y Discusión	74
Análisis funcional de la estructura de conducción del sistema de riego	74
Análisis funcional de la estructura del sistema de drenaje vial	85

Análisis funcional de la estructura del sistema de drenaje agrícola	95
Resultados De Análisis De Calidad De Agua Empleada En El Riego.....	97
Salinidad	97
Infiltración	99
Alcalinidad	100
Comportamiento del pH	100
Toxicidad del agua	101
Nutrientes en el agua de riego	102
Resultados de la evaluación de los sistemas de la red principal de riego.	103
Plano de la red	104
Diseño hidráulico.....	104
Estimación de caudales	104
Captación.....	106
Canal Abierto.....	107
Vertedero	108
Reservorio	110
Caudal de salida del reservorio.....	113
Caudal de descarga por desagüe	115
Análisis de la conducción principal	117
Resultados del análisis del sistema de drenaje agrícola	139
Diseño del drenaje agrícola.....	140

Parámetros para el diseño de la red colectora	140
Trazado de la Red de Drenaje.....	146
Dimensionamiento.....	146
Cálculo de la velocidad	146
Coeficiente de rugosidad de Manning	147
Área de canal (m ²)	147
Perímetro mojado (m).....	148
Radio Hidráulico (m).....	148
Pendiente (adim)	148
Profundidad total (H)	149
Dimensionamiento definitivo	149
Resultados del análisis del sistema de drenaje vial.....	151
Cálculo de caudales probables	153
Área de contribución.....	153
Pendiente.....	153
Tiempo de Concentración	153
Intensidades de Lluvias Máximas	154
Periodo de Retorno	155
Intensidad Diaria para un Periodo de Retorno	156
Intensidad	156
Coeficiente de Escorrentía (C).....	157

Características del sistema de drenaje.....	157
Cunetas Laterales	158
Área mojada (Am)	160
Perímetro Mojado (Pm)	160
Radio Hidráulico (R)	160
Velocidad de flujo	160
Coeficiente de Manning.....	161
Cunetas de coronación	166
Sub - drenes.....	173
Zanja	173
Filtro:	173
Colector:.....	174
Alcantarillas	176
Trazado de la Red de Drenaje.....	183
Capítulo IV	184
Conclusiones y Recomendaciones	184
Conclusiones.....	184
Recomendaciones	186
Referencias Bibliográficas	189
Anexos	192

Índice de Tablas

Tabla 1 Temperatura mínima - Hacienda el Prado.	46
Tabla 2 Temperatura media - Hacienda el Prado.	47
Tabla 3 Temperatura máxima - Hacienda el Prado.....	48
Tabla 4 Precipitaciones mensuales - Hacienda el Prado.....	49
Tabla 5 Tabla de Precipitación Anuales.	51
Tabla 6 Evaporación - Hacienda el Prado.....	52
Tabla 7 Humedad relativa - Hacienda el Prado.....	53
Tabla 8 Presión - Hacienda el Prado.....	54
Tabla 9 Coordenadas UTM de la Cuenca.	55
Tabla 10 Puntos de muestreo para análisis de calidad de agua.	59
Tabla 11 Parámetros De Los Niveles De La Calidad De Agua Para Riego (TABLA 4 COA).	60
Tabla 12 Parámetros De Los Niveles De La Calidad De Agua Para Riego (TABLA 5 COA).	61
Tabla 13 Calidad del agua de riego según su conductividad eléctrica (milimhos/cm). .	63
Tabla 14 Calidad de agua de riego según la cantidad de sales disueltas (mg/litros)....	64
Tabla 15 Relación de Absorción de Sodio (RAS).....	65
Tabla 16 Rangos permisibles de alcalinidad (mg/L CaCO ₃).	65
Tabla 17 Rangos permisibles de pH.....	66
Tabla 18 Rangos permisibles de toxicidad.	67
Tabla 19 Análisis funcional de la estructura de conducción del sistema de riego.....	74
Tabla 20 Análisis funcional de la estructura de conducción del sistema de drenaje vial.	85

Tabla 21 Análisis funcional de la estructura de conducción del sistema de drenaje agrícola.	95
Tabla 22 Conductividad Eléctrica en cada uno de los puntos de muestreo (milimhos/cm).....	97
Tabla 23 Sólidos disueltos totales (TDS) en mg/L en cada uno de los puntos de muestreos.	99
Tabla 24 Relación de Absorción de Sodio (RAS).....	99
Tabla 25 Alcalinidad (mgCaO ₃ /L) en cada uno de los puntos de muestreos.....	100
Tabla 26 Comportamiento pH en cada uno de los puntos de muestreos.....	101
Tabla 27 Valores de iones y toxicidad.	102
Tabla 28 Valores de nutrientes en los análisis de los puntos de muestra.	103
Tabla 29 Tabla de Caudales mensuales.	105
Tabla 30 Cálculo de Caudal de canal abierto.....	107
Tabla 31 Cálculos hidráulica de caudal de entrada y salida del vertedero.....	110
Tabla 32 Cálculo del volumen del reservorio.....	112
Tabla 33 Cálculo de volumen en distintas alturas.....	112
Tabla 34 Cálculo de altura con un volumen mínimo.	113
Tabla 35 Coeficientes de velocidad.	114
Tabla 36 Caudales de salida del reservorio.	114
Tabla 37 Análisis del desagüe del reservorio.	116
Tabla 38 Rediseño del desagüe del reservorio.	116
Tabla 39 Tabla de viscosidad del agua.	119
Tabla 40 Tabla de número de Reynolds.....	119
Tabla 41 Tabla de número de Reynolds.....	120
Tabla 42 Coeficiente de pérdidas locales.	121
Tabla 43 Coeficiente de pérdidas.	123

Tabla 44	Análisis Tramo I (Caseta de filtrado – Punto de red abierta).....	124
Tabla 45	Pérdidas por longitud Tramo I.....	124
Tabla 46	Pérdidas locales Tramo I.	125
Tabla 47	Pérdidas totales Tramo I.....	125
Tabla 48	Caudales de entrada para cada ramal Tramo I.....	125
Tabla 49	Análisis Tramo III (Ramal I - Acuicultura).....	126
Tabla 50	Pérdidas por longitud Tramo III.	126
Tabla 51	Pérdidas locales Tramo III.	126
Tabla 52	Pérdidas totales Tramo III.....	127
Tabla 53	Presiones Tramo III.....	127
Tabla 54	Rediseño Tramo III (Ramal I - Acuicultura).	128
Tabla 55	Pérdidas por longitud Tramo III.	128
Tabla 56	Pérdidas locales Tramo III.	128
Tabla 57	Pérdidas totales Tramo III.....	129
Tabla 58	Presiones Tramo III.....	129
Tabla 59	Análisis del software FlowMaster.	129
Tabla 60	Caudal de entrada Tramo IV.....	131
Tabla 61	Tramo IV (Captación – Bypass Ganadería).	131
Tabla 62	Pérdidas por longitud Tramo IV.	131
Tabla 63	Pérdidas locales Tramo IV.....	132
Tabla 64	Pérdidas totales Tramo IV.	132
Tabla 65	Presiones Tramo IV.	132
Tabla 66	Datos de tubería de salida de captación	133
Tabla 67	Caudal de entrada Tramo V.....	134
Tabla 68	Tramo V (Captación – Bypass Ganadería).	134
Tabla 69	Pérdidas por longitud Tramo V.....	134

Tabla 70	Pérdidas locales Tramo V.....	135
Tabla 71	Pérdidas totales Tramo V.	135
Tabla 72	Presiones Tramo V.	135
Tabla 73	Caudal red abierta.....	136
Tabla 74	Caudal total.	136
Tabla 75	Presión total.	136
Tabla 76	Demanda hídrica por invernadero de estudio.	137
Tabla 77	Demanda hídrica por invernadero de estudio.	138
Tabla 78	Valores del Factor de forma $K=F/n$ (según la ecuación de Manning).	138
Tabla 79	Demanda hídrica por invernadero de estudio.	139
Tabla 80	Tiempo de duración.	141
Tabla 81	Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h (I_{dtr}).	143
Tabla 82	Lluvia de diseño.	144
Tabla 83	Caudal de diseño (lt/s).	145
Tabla 84	Cálculos hidráulicos.	150
Tabla 85	Análisis del software FlowMaster.	151
Tabla 86	Periodos de retorno.....	155
Tabla 87	Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h (I_{dtr}).	156
Tabla 88	Ubicación de las alcantarillas por tramo.....	158
Tabla 89	Coeficiente de Manning.	161
Tabla 90	Velocidades máximas recomendables en canales no revestidos.	162
Tabla 91	Cálculo del caudal probable.....	163
Tabla 92	Análisis de las dimensiones de las secciones.....	164
Tabla 93	Ubicación de cunetas de coronación.....	167
Tabla 94	Cálculos de diseño.....	170
Tabla 95	Análisis de las dimensiones de las secciones.....	170

Tabla 96 Análisis del software FlowMaster.	171
Tabla 97 Análisis del software FlowMaster.	172
Tabla 98 Porcentaje de material que pasa para la clase II.	174
Tabla 99 Resistencia del colector a carga.	175
Tabla 100 Cálculos del diseño.	175
Tabla 101 Aportación de Caudal para alcantarillas.	177
Tabla 102 Ventajas y desventajas de las alcantarillas.	178
Tabla 103 Cálculos Hidráulicos.	181
Tabla 104 Análisis de las dimensiones de las secciones.	182

Índice de Figuras

Figura 1 Estado actual del drenaje vial.	29
Figura 2 Estado actual del drenaje vial.	29
Figura 3 Estado actual del drenaje agrícola.	30
Figura 4 Mapa del Sector (División Política Provincia de Pichincha).	36
Figura 5 Área de influencia Mapa de la Hacienda El Prado IASA I.	37
Figura 6 Captación.	39
Figura 7 Conducción por canal abierto.	39
Figura 8 Reservorio.	40
Figura 9 Desarenador.	40
Figura 10 Cuneta (Sistema drenaje Vial).	41
Figura 11 Cuneta (Sistema drenaje Vial).	41
Figura 12 Zanja (Sistema drenaje agrícola).	42
Figura 13 Sitios de captación, Zona de riego.	43
Figura 14 Estación Agrometeorológica del IASA.	45
Figura 15 Temperatura mínima media del periodo de 20 años.	46
Figura 16 Temperatura mínima media del periodo de 20 años.	47
Figura 17 Temperatura máxima media del periodo de 20 años.	48
Figura 18 Precipitación media del periodo de 20 años.	50
Figura 19 <i>Evaporación media del periodo de 20 años.</i>	52
Figura 20 <i>Humedad relativa media del periodo de 20 años.</i>	53
Figura 21 <i>Presión media del periodo de 20 años.</i>	54
Figura 22 <i>Cuenca hidrográfica.</i>	56
Figura 23 <i>Cuenca hidrográfica.</i>	57
Figura 24 <i>Delimitación Cuenca hidrográfica.</i>	58

Figura 25 <i>Área de la Cuenca hidrográfica</i>	58
Figura 26 <i>Factores por considerar en el sistema de riego</i>	68
Figura 27 <i>Componentes de un sistema de riego</i>	69
Figura 28 <i>Componentes de una obra de drenaje menor</i>	71
Figura 29 <i>Obras Complementarias</i>	72
Figura 30 <i>Diagnóstico funcional de la estructura</i>	103
Figura 31 <i>Captación Pailones</i>	106
Figura 32 <i>Vertedero rectangular</i>	109
Figura 33 <i>Vertedero triangular-rectangular</i>	109
Figura 34 <i>Reservorio I Pailones</i>	111
Figura 35 <i>Curva de descarga del reservorio</i>	115
Figura 36 <i>Esquema de red abierta</i>	122
Figura 37 <i>Análisis del software FlowMaster</i>	130
Figura 38 <i>Esquema de red abierta</i>	133
Figura 39 <i>Esquema del canal</i>	146
Figura 40 <i>Sección Tipo</i>	149
Figura 41 <i>Análisis del software FlowMaster</i>	151
Figura 42 <i>Diagnóstico funcional de la estructura</i>	152
Figura 43 <i>Gráfico de la distribución de la Precipitación IASA</i>	155
Figura 44 <i>Secciones típicas de Cunetas</i>	159
Figura 45 <i>Dimensiones de la cuneta lateral</i>	160
Figura 46 <i>Sección tipo de Cuneta</i>	165
Figura 47 <i>Cuneta de coronación</i>	166
Figura 48 <i>Esquema Cuneta de Coronación</i>	167
Figura 49 <i>Sección tipo Cuneta de Coronación</i>	171
Figura 50 <i>Análisis del software FlowMaster para cunetas laterales</i>	172

Figura 51 Análisis del software FlowMaster para cunetas de coronación.....	172
Figura 52 Sección tipo de Sub – dren.	173
Figura 53 Sección tipo de Sub – dren.	176
Figura 54 Sección transversal de alcantarilla.....	177
Figura 55 Sección tipo de alcantarilla.....	183

Resumen

El presente proyecto contiene el diagnóstico y rediseño de los sistemas de la red principal de riego, drenaje agrícola y vial para la hacienda el Prado IASA I. Para el desarrollo del mismo se examinó y recopiló estudios realizados anteriormente como la topografía del sitio, el cual presenta datos de las áreas influyentes de riego y drenaje, como también las respectivas redes actuales. Se recopiló información del estado actual de dichos sistemas, a través del recorrido en el terreno, recopilación de material fotográfico para comprobar el estado para detectar posibles daños y falencias de los mismos, con el propósito de obtener un rediseño óptimo de dichos sistemas. Posteriormente se realizó la revisión de material bibliográfico, seguida de una investigación de campo, donde se estableció la ubicación de la red principal del sistema de riego. Respecto a la fuente de abastecimiento, se llevó a cabo la evaluación de la calidad del agua que es destinada a cada invernadero, a través de muestreos y análisis de laboratorio. En cuanto al sistema de drenaje vial, para su rediseño se consideró el aumento de caudal de aguas lluvias debido a la escorrentía generada por la impermeabilización en las vías, así como también los factores meteorológico y parámetros de diseño hidráulico, con la finalidad de reducir el impacto del agua en la vía. Finalmente se realizaron los respectivos cálculos para un diseño óptimo, complementando al actual proyecto con los respectivos planos de diseño y un presupuesto referencial de obra.

PALABRAS CLAVES:

- **RED PRINCIPAL DE RIEGO**
- **DRENAJE AGRÍCOLA**
- **DRENAJE VIAL**
- **CALIDAD DE AGUA**

Abstract

The present project contains the diagnosis and redesign of the systems of the main irrigation, agricultural drainage and road drainage network of the hacienda El Prado IASA I. For the development of this project, previous studies were examined and compiled, such as the topography of the site, which presents data of the influential areas of irrigation and drainage, as well as the respective current networks. Information on the current state of these systems was collected through a field visit, and photographic material was collected to check their condition in order to detect possible damages and shortcomings, with the purpose of obtaining an optimal redesign of these systems. Subsequently, a review of bibliographic material was carried out, followed by a field investigation, where the location of the main network of the irrigation system was established. Regarding the supply source, the quality of the water used for each greenhouse was evaluated through sampling and laboratory analysis. The redesign of the road drainage system took into account the increase in rainwater flow due to runoff generated by the waterproofing of the roads, as well as meteorological factors and hydraulic design parameters, in order to reduce the impact of water on the road. Finally, the respective calculations were made for an optimal design, complementing the current project with the respective design plans and a referential work budget.

KEY WORDS:

- **MAIN IRRIGATION NETWORK**
- **AGRICULTURAL DRAINAGE**
- **ROAD DRAINAGE**
- **WATER QUALITY**

Capítulo I

Introducción

Los sistemas de riego y drenaje son un conjunto de obras de ingeniería, que manejan las fuentes de agua a fin de promover la producción agrícola. Su diseño está vinculado con la topografía y características del terreno, y el dimensionamiento de las estructuras que lo componen es muy variado debido a que están en función de los caudales a transportar.

El desarrollo agrícola está sustentado por el riego, lo cual constituye una parte importante en cuanto a la limitación para el desarrollo agrícola. En distintas áreas existe gran competencia por el agua y se tiene como consecuencia una mayor demanda del agua para distintos usos, conllevando una limitación en su disponibilidad.

Mientras que el drenaje es principalmente el sistema que permite la evacuación de las aguas que se acumulan en depresiones topográficas de los terrenos, causando inconvenientes a las áreas que pueden ser agrícolas, urbanizadas o las mismas carreteras. Principalmente el sistema de drenaje está compuesto por una red de canales que recogen y conducen las aguas a otra parte, fuera del área a ser drenada, impidiendo al mismo tiempo la entrada de las aguas externas. También se puede decir que el drenaje es el que permite reducir el acúmulo de agua (Romero, Ronchaquira, & Gómez, 2017).

El presente proyecto pretende visitar, evaluar y rediseñar los sistemas de la red principal de riego, drenaje agrícola y vial para la Hacienda el Prado IASA I. Para ello se recopilará información topográfica, la misma que permitirá verificar los datos de las áreas influyentes, así como de aportación, de riego y drenaje.

A través de una investigación de campo, se establecerá la ubicación de dichos sistemas, comprobando así sus estados actuales y el funcionamiento de los mismos, efectuando un estudio de oferta, demanda hídrica y humedad en el suelo de los cultivos, el cual verificará si el sistema proporciona una adecuada cantidad y presión de agua, y por medio de muestreos en la fuente de abastecimiento se verificará su calidad, la misma que está destinada a las distintas irrigaciones de cada cultivo.

Antecedentes

El 3 de enero de 1992, la Comandancia General del Ejército recomendó a la Escuela Superior Politécnica del Ejército, actualmente conocida como Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, la creación del Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA I). Con este fin el Honorable Consejo Politécnico mediante resolución N.- 9200011 del 4 de febrero de 1992, autorizó su creación, como extensión de la ESPE, para cuyo efecto el Ministerio de Defensa realizó el traspaso de la Hacienda El Prado del Departamento de Agroindustrias del Ejército a la ESPE – IASA (Quito, 2008).

El 4 de abril de 1994 el IASA – ESPE inició sus actividades en las instalaciones de la Hacienda “El Prado”, con 120 alumnos que ingresan al nivel Prepolitécnico. El 11 de noviembre de 1996, dado el crecimiento estudiantil y la necesidad de formar profesionales con título de ingenieros, se aprueba la creación de la Facultad de Ciencias Agropecuarias, manteniendo sus siglas IASA (Quito, 2008).

En la actualidad La Hacienda “EL Prado”, es un módulo productivo de la carrera de Ingeniería Agropecuaria del antiguo Instituto Agropecuario Superior Andino (IASA) de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, en donde los estudiantes realizan sus actividades académicas y prácticas de campo, y por lo tanto se maneja de acuerdo con

el reglamento de la ESPE y el personal es responsable de la aplicación de dicho reglamento (Quito, 2008).

El IASA se inaugura con el objetivo de crear un centro de formación superior en el campo agropecuario, beneficiando así al Ecuador, en temas de economía y desarrollo social. El IASA surgió como un proyecto innovador, con el avance tecnológico, las necesidades del entorno y la difusión de proyectos, trascendiendo barreras nacionales, proyectándose a nivel internacional, por tal motivo se busca diagnosticar y rediseñar la red principal de riego, garantizando la calidad y cantidad de agua, considerando a las presentes y futuras generaciones, estableciendo las más grandes posibilidades para aumentar y diversificar la producción agrícola, e implementar un nuevo sistema de drenaje agrícola y vial, para una correcta evacuación del exceso de agua, que se presenta en los diferentes sitios de la Institución.

Respecto a la red principal que abastece a todo el sistema de riego existente en el IASA I dentro de la Hacienda el Prado, no se tiene la certeza de cuando fue construido, pero se estima que la misma ha tenido un periodo de funcionamiento superior a los 30 años, cumpliendo así su vida útil de diseño.

Sin embargo el drenaje vial, desde la implementación del área académica y el campo de prácticas e investigaciones agropecuarias, ha sufrido de modificaciones y nuevas implementaciones como la ejecución del adoquinado de la vía de acceso a las instalaciones en el 2019, el cual cuenta con un sistema de drenaje en perfectas condiciones, pero ciertos tramos de la red vial interna del IASA I se encuentran parcialmente pavimentadas, lastradas o empedradas, existiendo así un sistema de drenaje poco eficiente o hasta la ausencia del mismo, como se puede apreciar en la Figura 1 y Figura 2.

Figura 1

Estado actual del drenaje vial.

**Figura 2**

Estado actual del drenaje vial.



Además, en las áreas de cultivos, no existe un sistema de drenaje agrícola que permita una correcta evacuación del agua, debido a la existencia de pendiente en el sitio, la institución no se ha visto obligada a implementar un adecuado sistema, como se puede visualizar en la Figura 3.

Figura 3

Estado actual del drenaje agrícola.

**Planteamiento del Problema**

El Ecuador ha experimentado un gran crecimiento de la población y el desarrollo agrícola en los últimos años, por consecuencia de esto hoy en día el agua es de importancia en la producción agrícola y de consumo, por lo cual se necesita de prácticas tecnificadas de cultivos y de un buen manejo del recurso hídrico para prevenir su escasez, y en el futuro nuestros descendientes puedan tener una vida digna.

Por su parte, el agua que se destina a riego agrícola bordea el 80% de la disponibilidad de agua dulce del planeta, y en el Ecuador el porcentaje parecido, este recurso está destinado al consumo humano, riego y actividades industriales, entre las más importantes. Sin embargo, el uso en riego es el principal por volumen utilizado, pero se realiza bajo condiciones ineficientes. La deficiencia en el manejo del agua de riego se observa en todos los componentes del sistema, desde la captación hasta la

aplicación en las parcelas; pasando por la conducción, almacenamiento, distribución y métodos de riego parcelario. El proceso es improvisado y sin planificación en la mayoría de las juntas de regantes. Además, la población rural genera presión e intervención sobre las principales fuentes de agua y perturba los elementos del ciclo hidrológico a nivel local, con resultados como bajas de caudal en la fuentes y contaminación de las aguas superficiales, lo que agrava la disponibilidad y calidad del agua de riego para las actividades agropecuarias (Lloret, 2002).

En cuanto a los sistemas de drenaje, en muchas ciudades y localidades de Ecuador se tiene la dificultad de recolección y conducción del acumulo del agua, los cuales han generado problemas de inundaciones debido a que estos sistemas se ven superados sus capacidades de evacuación. La falta de estos es el resultado de causas muy diversas, cuestiones económicas, sociales y políticas que influyen en el problema (Pedraza, 2007).

Se debe agregar que, poco sirve un buen proyecto y construcción del drenaje si no se dispone de un buen sistema de mantenimiento, considerando que un buen proyecto de drenaje agrícola y vial es vital para un gran desarrollo del lugar. Sin mantenimiento no solamente disminuye la vida útil de las estructuras de drenaje, sino que también disminuirá la vida útil de las vías y se pondrá en juego la seguridad del tránsito automotor (Maldonado & Rodríguez, 2012).

La Hacienda el Prado IASA de 567,57 ha en cuyas instalaciones realiza sus actividades la carrera de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias, en donde funciona el área académica y el campo de prácticas en investigaciones agropecuarias, en forma periódica desarrolla programas de producción animal como: ganadería de leche, porcinos, aves, acuicultura, lombricultura, apicultura y programas de producción vegetal

como: frutas, hortalizas y flores. En la actualidad, la red principal del sistema de riego, que suministra agua a los diferentes cultivos de la Hacienda el Prado, ha cumplido su vida útil de diseño, además existe la ausencia tanto de un sistema de drenaje agrícola como vial, lo que provoca una deficiente evacuación de la acumulación de agua.

Justificación e Importancia del Proyecto

En el ámbito de la producción agrícola, entre otros aspectos, el riego es un factor clave para disminuir la inseguridad productiva provocada por la irregularidad de los ciclos estacionales como los inviernos cortos o veranos largos, el cual posibilita el incremento y diversificación de los cultivos, así como el desarrollo de nuevos cultivos en lugares en los que normalmente no se los podría producir por condiciones climáticas o de altura (Secretaría-del-Agua, 2019).

Ahora bien, en lo social y económico, cuando se utiliza un sistema de riego técnicamente apropiado para una determinada unidad de producción agropecuaria, la productividad de esta se incrementa e incluso se diversifica, por lo que el riego se considera un elemento que gravita en la resolución de los problemas de pobreza en las áreas rurales; genera empleo y a su vez, disminuye la emigración rural. En el ámbito ambiental, el riego es un factor que limita la expansión de la frontera agrícola y favorece la conservación de ecosistemas frágiles (Zapatta & Gasselin, 2005).

Mientras que el drenaje, permite la conducción, es decir, dar salida al agua de los terrenos húmedos por medio de las estructuras e implementos adecuados. Todas las obras civiles necesitan, de una u otra forma, del drenaje. En la agricultura y la vialidad, esta necesidad es notable, teniendo en cuenta que el agua es su principal enemigo, por ello, al sistema de drenaje se le suele considerar como una obra de mitigación encargada de reducir el impacto ambiental (Maldonado & Rodríguez, 2012).

El proyecto tiene como propósito el diagnóstico y diseño de los sistemas de la red principal de riego, cuya función permitirá el uso y aprovechamiento racional del recurso hídrico, así como del drenaje agrícola y vial, siendo estos de gran importancia para una correcta evacuación del exceso de agua, tomando en cuenta que lo ideal para el buen funcionamiento de dichos sistemas, es que se complementan, debido al lugar en el que se va a realizar el proyecto, amerita aplicar la fusión de los mismos, brindando así una alternativa viable y eficiente que beneficiará a los pobladores de la hacienda el Prado, IASA I.

Objetivos Generales y Específicos

Objetivo General

Realizar un diagnóstico y mejorar los sistemas de la red principal de riego, drenaje agrícola y vial, para así proporcionar un mejor servicio a la población de la Hacienda el Prado IASA I, mediante un levantamiento de información, normas técnicas y los parámetros hidráulicos que lo contemplen.

Objetivos Específicos

- Recopilar información existente de la Hacienda el Prado "IASA", mediante una inspección visual y el levantamiento topográfico de la red principal del sistema de riego, drenaje agrícola y vial actual, con la finalidad de definir un sistema estratégico, alternativas de solución y presupuestos óptimos.
- Evaluar la cantidad de agua del sistema de la red principal de riego en las distintas áreas del IASA, analizando la oferta y demanda hídrica de cada invernadero y actividades productivas, para el rediseño del sistema, mejorando el abastecimiento de agua en dichas zonas.

- Evaluar la calidad del agua en las fuentes de abastecimiento del sistema de riego del IASA, analizando distintas muestras de agua en un laboratorio, para conocer si los niveles de pH, conductividad eléctrica, salinidad, alcalinidad y nutrientes son los adecuados para el riego en los cultivos y de esta manera verificar si es necesario una planta de tratamiento.
- Diagnosticar el estado actual del sistema de drenaje agrícola y vial de la Hacienda el Prado "IASA", a través de una investigación de campo, para conocer el funcionamiento y los daños físicos de la zona de estudio.
- Realizar el proyecto a nivel de factibilidad de los sistemas de riego, drenaje agrícola y vial del IASA, especificando un diagnóstico de la situación actual de dichos sistemas, así como también alternativas y presupuestos óptimos de rediseño de la red, para así conocer la viabilidad de implementar en un futuro un proyecto de inversión.

Capítulo II

Materiales y Métodos

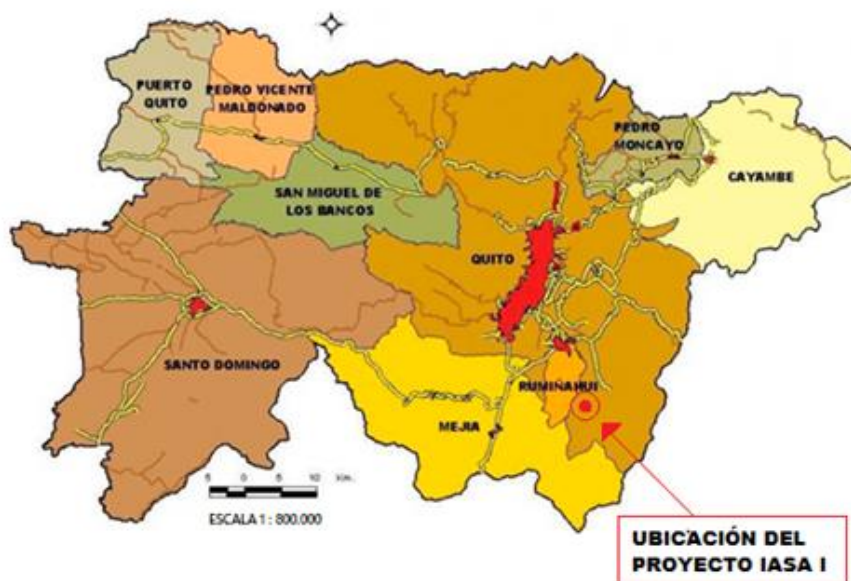
Ubicación General

El proyecto se desarrollará en la Hacienda el Prado IASA I de la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE" ubicada en el sector de San Fernando, cerca de la ciudad de Sangolquí, en el Valle de los Chillos, cantón Rumiñahui, provincia de Pichincha, a una distancia de 26 kilómetros al Sur - Este de Quito, capital de la República del Ecuador, a una elevación de 2940 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas $0^{\circ}23'20''$ S $78^{\circ}24'44''$, con un clima andino privilegiado de temperaturas que oscilan alrededor de los 13-14°C.

En la Figura 4 se presenta el mapa del Sector de la provincia de Pichincha, en el cual se indica la ubicación del proyecto cuya división política está limitada por el cantón Mejía y el cantón Quito, siendo este último el límite del Distrito Metropolitano de Quito.

Figura 4

Mapa del Sector (División Política Provincia de Pichincha).

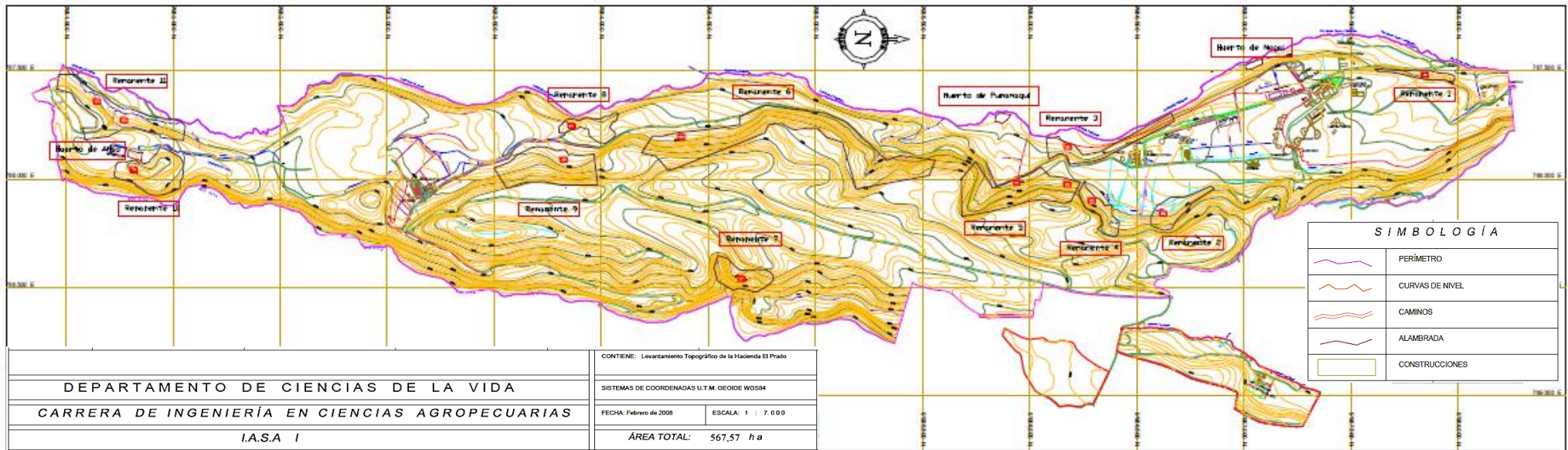


Nota. Recuperado de (Corporación de desarrollo Territorial Estudios Urbano – Regionales, 2016).

Por lo tanto, la ejecución de este proyecto tiene como finalidad dotar de un servicio de riego y drenaje adecuado, es decir que cumpla con los requerimientos de caudal y la respectiva evacuación del exceso de agua que satisfaga las necesidades de los cultivos, beneficiando de forma directa a la población que se encuentra en la Hacienda el Prado IASA I que tiene un área de influencia de aproximadamente 567,57 ha, como se puede observar en la siguiente figura:

Figura 5

Área de influencia Mapa de la Hacienda El Prado IASA I.



Nota. Levantamiento Topográfico Hacienda El Prado (Luna, 2015).

Aspectos Físicos

Descripción del Sitio

Para el rediseño de los sistemas de riego y drenaje en la Hacienda El Prado IASA I, se realizó la búsqueda, recopilación y diagnóstico del estado actual de las obras hidráulicas, estudios topográficos del sitio, material bibliográfico existente con respecto a los proyectos relacionados. De la misma forma se revisó la documentación de datos meteorológicos sobre: precipitación, temperatura, evaporación, humedad relativa, existentes en la estación Agrometeorológica del IASA

Para un mejor alcance en el desarrollo del proyecto, se llevó a cabo el recorrido total por los sistemas de riego, drenaje y los invernaderos de estudio, que posee la Hacienda el Prado, así como el reconocimiento de las áreas consideradas en el rediseño y las fuentes de agua que serán una parte esencial para el planteamiento de las posibles alternativas que proporcionen un mejor desempeño de los sistemas de riego y drenaje.

Actualmente el sistema de riego posee estructuras como: captación (fuente hídrica de un afluente de la Quebrada el Cabre), un desarenador, reservorio, canal abierto, tuberías, obras complementarias, que se especifican en las siguientes fotografías:

Figura 6

Captación.



Figura 7

Conducción por canal abierto.



Figura 8

Reservorio.



Figura 9

Desarenador.



Por otro lado, el sistema de drenaje agrícola y vial que posee la Hacienda el Prado carece de un correcto funcionamiento, debido a la falta de mantenimiento o en su

defecto la ausencia de estos, produciendo una insuficiencia en la evacuación del exceso de agua, como se lo puede observar a continuación:

Figura 10

Cuneta (Sistema drenaje Vial).



Figura 11

Cuneta (Sistema drenaje Vial).



Figura 12

Zanja (Sistema drenaje agrícola).

**Localización del sitio de captación.**

El proyecto se encuentra ubicado en la Hacienda el Prado IASA I, el cual cuenta con dos sitios de captación cuyas coordenadas son:

Captación Pailones:

- X: 787793,33
- Y: 9951630,66
- Altitud: 3015 msnm

Captación Ganadería:

- X: 788184
- Y: 9956380,2
- Altitud: 2806 msnm

Figura 13

Sitios de captación, Zona de riego.



Nota. Se presenta la localización de los puntos de captación. Imagen capturada del programa Google Earth Pro.

Geología

La geología de la hacienda El Prado se describe como una meseta alta que desciende hacia ambos valles laterales con fuerte pendiente. Se conoce que la zona es un depósito de sedimentos cuaternarios producto de los lajares de anteriores erupciones del volcán Cotopaxi, siendo el río Pita y la quebrada del Cabre del río Pinllocoto las zonas de evacuación de los deshielos del volcán. Los depósitos están conformados por materiales como piedra pómez, cenizas, arenas, cangahua (Terán & Villacrés, 2006).

Suelo

De acuerdo con los estudios edafológicos realizados a nivel de la Sierra Ecuatoriana por MAG – PRONAREG/ORSTOM (1975 – 1983) a escala 1:50000, la hacienda posee suelos que se caracterizan principalmente por ser derivados de ceniza

volcánica, de color negro, de textura limosa, profundos, pocos ácidos, con una saturación de cationes de más 50%, no tiene ninguna capa dura dentro del primer metro y tienen menos 30% de arcilla (principalmente Halloysita). Según la misma fuente, estos suelos poseen un régimen de temperatura isotérmico (temperatura del suelo a 50 cm de profundidad 13 a 20 – 22 °C) y un régimen de humedad (suelo seco menos de tres meses consecutivos cada año) (Terán & Villacrés, 2006).

Además de los suelos antes indicados, existen otros en menor porcentaje, los cuales también son de origen volcánico pero que se caracterizan por estar sobre cangahua (ceniza muy fina, dura y de gran espesor) a diferentes profundidades.

Vegetación

La vegetación natural de bosque Premontano y Montano bajo debido a la intervención humana casi ha sido eliminada en su totalidad, reemplazándola por cultivos y pastos. En el sector administrativo se observa la presencia de bosque primario y de las mayores áreas de pastos, debido a la cercanía que existe a las instalaciones de ordeño. Existen especies arbóreas y arbustivas en la hacienda El Prado que se encuentran en peligro de desaparecer de nuestro ambiente andino, las especies son: Cedro Andino, Puma Maque, Pusupato, Cedrillo, Perdillo. Además, existen otras variedades como el Eucalipto y los Cerconios. El Eucalipto al ser una especie de árbol de madera muy apreciado en el paisaje andino, hace que la vegetación circundante muera en corto o mediano tiempo, debido a la absorción de todos los micro y macronutrientes del suelo dejándolo estéril. El sector es propicio para el cultivo de maíz, papa, legumbres, hortalizas, flores y frutas bajo invernadero, fréjol, cereales, pastos, el suelo es apto para sembrar raigrás y alfalfa, este último es de gran importancia para el ganado productor de leche por sus nutrientes (Terán & Villacrés, 2006).

Aspectos Naturales

Características Climatológicas e Hidrológicas

Para un desarrollo eficaz de este proyecto, es necesario el análisis de ciertas características climatológicas, el cual nos permitirá obtener un certero resultado en la elaboración de este.

La información por utilizarse en el proyecto serán registros anuales obtenidos de la estación Agrometeorológica que se encuentra ubicada en la Hacienda el Prado, cuyas coordenadas son: altitud $0^{\circ} 23' 20''$ y longitud $78^{\circ}24'44''$ a una elevación 2748 msnm.

Figura 14

Estación Agrometeorológica del IASA.



Temperatura

El clima correspondiente a la zona del proyecto es tropical mega térmico húmedo, posee una temperatura promedio entre los 5° a 24°C , cuyos registros analizados de la estación Agrometeorológica entre el año 2000 al 2019 se puede

verificar que el mes más frío fue agosto con una temperatura de 7,04 °C y el mes más cálido fue septiembre con una temperatura de 22,60°C.

Tabla 1

Temperatura mínima - Hacienda el Prado.

TEMPERATURA MÍNIMA (2000-2019)	
Enero	7,70
Febrero	8,24
Marzo	8,22
Abril	8,24
Mayo	8,62
Junio	7,49
Julio	7,06
Agosto	7,04
Septiembre	6,94
Octubre	7,54
Noviembre	7,70
Diciembre	7,96

Nota. Datos recuperados de la Estación Agrometeorológica perteneciente al IASA I.

Figura 15

Temperatura mínima media del periodo de 20 años.

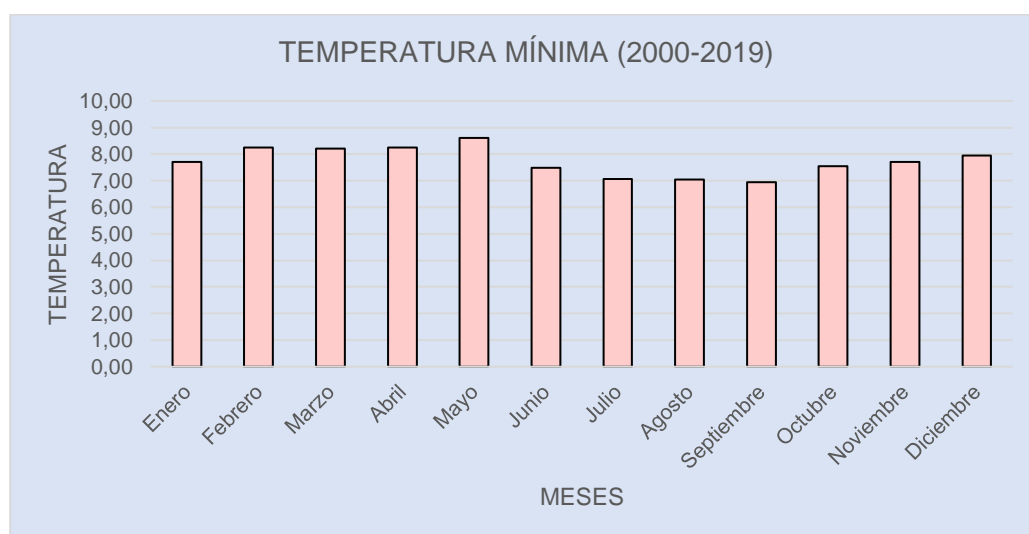


Tabla 2*Temperatura media - Hacienda el Prado.*

TEMPERATURA MEDIA (2000-2019)	
Enero	14,15
Febrero	14,30
Marzo	14,87
Abril	14,76
Mayo	14,94
Junio	14,76
Julio	15,24
Agosto	15,00
Septiembre	14,86
Octubre	14,97
Noviembre	14,86
Diciembre	14,94

Nota. Datos recuperados de la Estación Agrometeorológica perteneciente al IASA I.

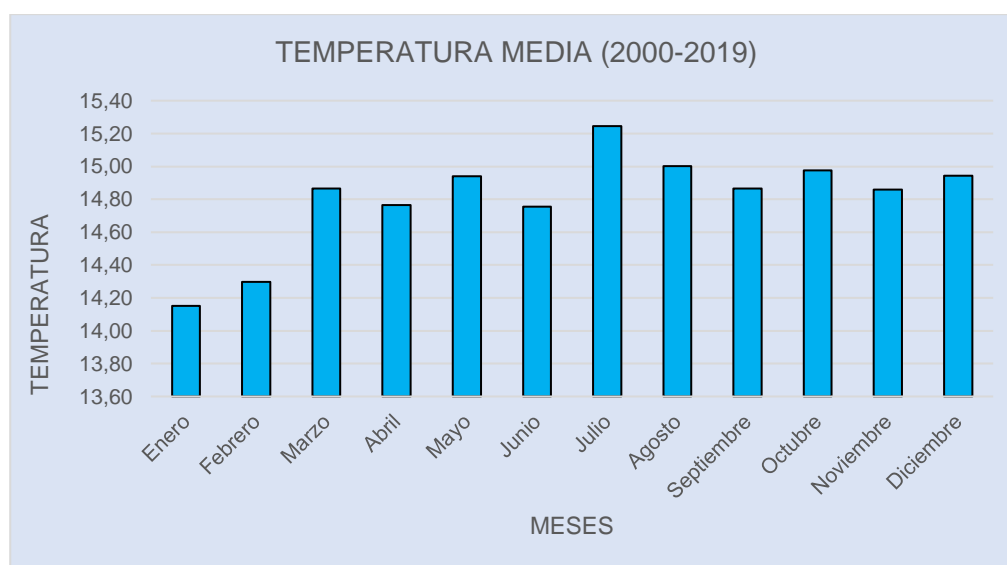
Figura 16*Temperatura mínima media del periodo de 20 años.*

Tabla 3

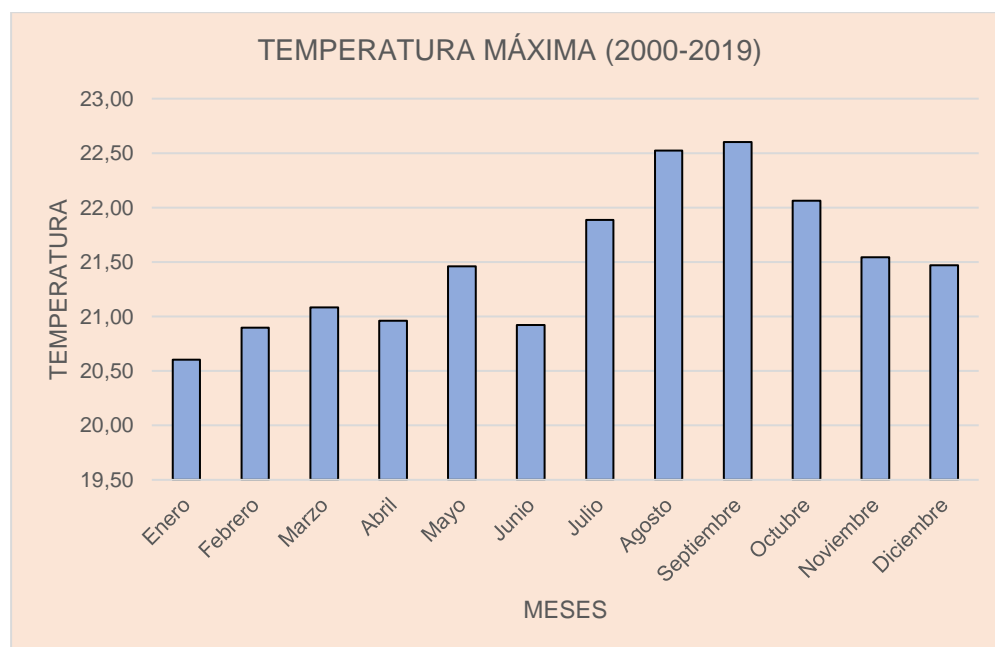
Temperatura máxima - Hacienda el Prado.

TEMPERATURA MÁXIMA (2000-2019)	
Enero	20,61
Febrero	20,90
Marzo	21,09
Abril	20,96
Mayo	21,46
Junio	20,92
Julio	21,89
Agosto	22,53
Septiembre	22,60
Octubre	22,07
Noviembre	21,54
Diciembre	21,47

Nota. Datos recuperados de la Estación Agrometeorológica perteneciente al IASA I.

Figura 17

Temperatura máxima media del periodo de 20 años.



Precipitación

De acuerdo con los registros obtenidos de la estación se puede observar que las precipitaciones mensuales medias empiezan en el mes de octubre y continúan hasta el mes de mayo, donde la máxima se produce en el mes de marzo; y en temporadas secas las precipitaciones más bajas corresponden a los meses de julio y agosto.

Tabla 4

Precipitaciones mensuales - Hacienda el Prado.

PRECIPITACIÓN (2000-2019)	
Enero	129,04
Febrero	132,64
Marzo	168,62
Abril	145,91
Mayo	102,20
Junio	45,04
Julio	26,23
Agosto	31,97
Septiembre	48,76
Octubre	138,61
Noviembre	156,01
Diciembre	159,48

Nota. Datos recuperados de la Estación Agrometeorológica perteneciente al IASA I.

Figura 18

Precipitación media del periodo de 20 años.

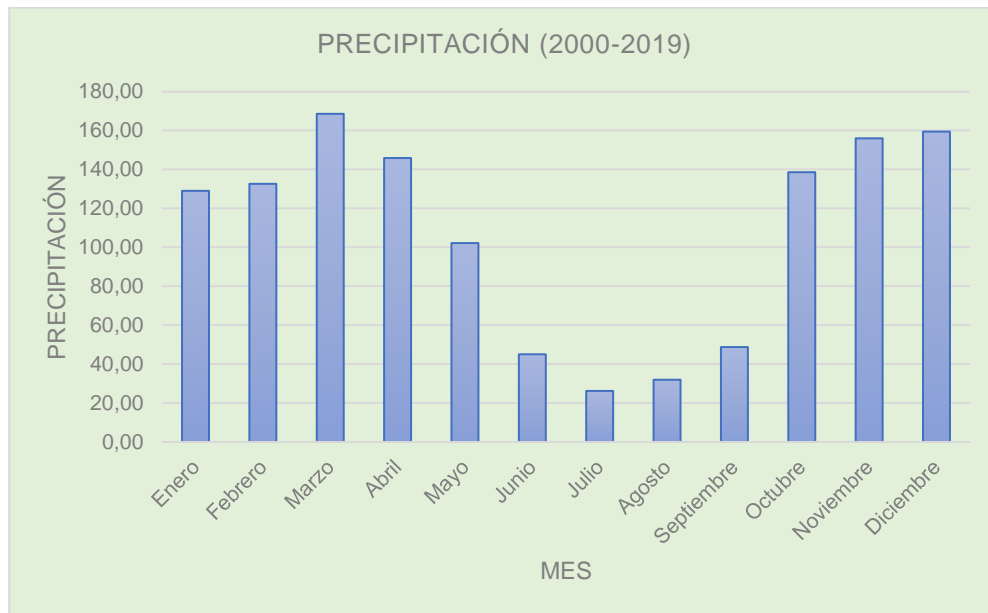


Tabla 5

Tabla de Precipitación Anuales.

PRECIPITACIÓN												
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2000	249,3	117,3	187,24	204,5	159,8	74,92	28,7	5	73,7	65,2	111,16	60,4
2001	123	140,4	179,8	82,9	41,7	36,95	34,72	0	67,2	41,85	156,3	265,36
2002	80,7	72,4	219,3	170,6	86,8	29	17,1	27,9	23,7	175,6	119	228,2
2003	109,1	142,72	109,1	157,3	102,6	169,86	4	212,97	67,1	166,7	146,5	120,1
2004	164,8	43,44	67,7	80,2	72,6	3,1	5,75	0,2	152,4	175,9	173,7	249,4
2005	164,8	142,72	114,6	140,5	17,57	45,4	30,5	30,5	41,3	83,1	112,2	234,6
2006	144,1	125,6	167,2	167,2	227,2	75,3	21	10,1	22,4	154,9	235,7	148,1
2007	48,5	107,5	107,5	169,6	169,6	69,7	33,03	17,2	2,6	246,9	225	175,6
2008			325,3	222,7	200,65	78,1	8,2	74,2	71,1	230,9	202,6	189,5
2009	183,75	107	183,8	112,2	93,7	39,2	1,8	8	6,6	90,15	113,8	170,4
2010	34,6	85,2	46,5	146	149,2	32,5	144,7	13,5	48,2	84,1	228,9	213,7
2011	126	298,8	230,4	219,6	76,2	35,4	57,3	59,4	16,3	319,8	163,1	125,9
2012	180,2	167,2	127,7	151,6	57	18,6	17,1	10	37,2	142	122,4	63,1
2013	87,7	197,6	58,4	97,5	86,5	5	19,7	111,8	64,9	122,4	109	103
2014	215,7	136,6	260,9	86,4	29	29	2,2	5	38,3	81,6	146,8	190,8
2015	40,7	152,6	277,1	95,2	50,4	3,1	16,9	0	17,7	91	131,2	33
2016	182,5	55,4	154,3	201,5	37,1	30,7	6,8	0	82,2	178,4	41,8	173,39
2017												
2018	72	134,4	151,4	137,3	209,2	48,9	33,5	21,6	42,2	62	191,7	150,9
2019	115,35	160,61	235,51	129,4	74,9	31,1	15,29	0	51,4	121	233,4	134,7
Suma	2322,80	2387,49	3203,75	2772,20	1941,72	855,83	498,29	607,37	926,50	2633,50	2964,26	3030,15
Media	129,04	132,64	168,62	145,91	102,20	45,04	26,23	31,97	48,76	138,61	156,01	159,48

Nota. Datos recuperados de la Estación Agrometeorológica perteneciente al IASA I.

Evaporación

Acorde a los datos registrados de la estación se puede observar que la evaporación más alta se presenta en el mes de agosto, mientras que la más baja se da en el mes de abril.

Tabla 6

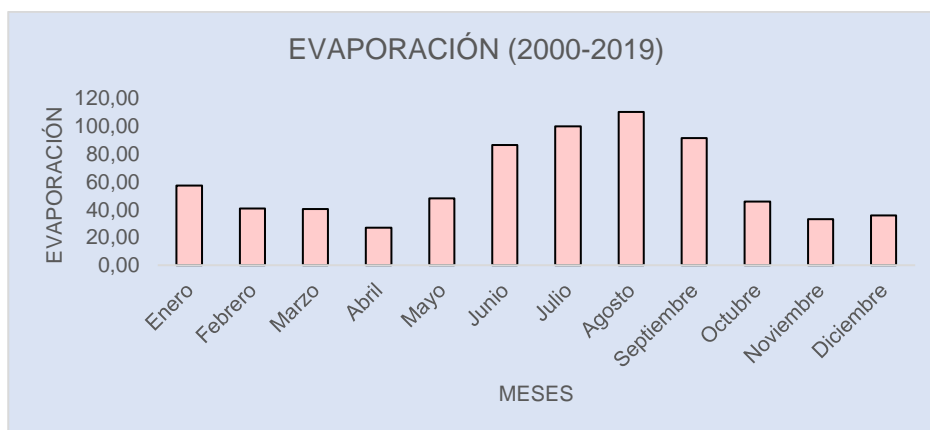
Evaporación - Hacienda el Prado.

EVAPORACIÓN (2000-2019)	
Enero	57,14
Febrero	40,87
Marzo	40,45
Abril	27,04
Mayo	48,16
Junio	86,41
Julio	100,05
Agosto	110,25
Septiembre	91,29
Octubre	45,70
Noviembre	33,20
Diciembre	35,81

Nota. Datos recuperados de la Estación Agrometeorológica perteneciente al IASA I.

Figura 19

Evaporación media del periodo de 20 años



Humedad relativa

La humedad relativa de la zona es de alrededor de 72 %.

Tabla 7

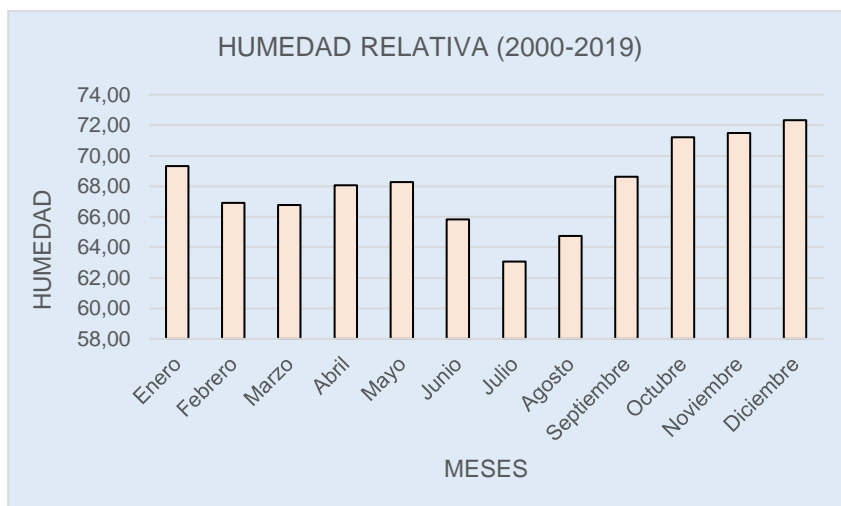
Humedad relativa - Hacienda el Prado.

HUMEDAD RELATIVA (2000-2019)	
Enero	69,32
Febrero	66,90
Marzo	66,78
Abril	68,08
Mayo	68,27
Junio	65,83
Julio	63,06
Agosto	64,75
Septiembre	68,64
Octubre	71,19
Noviembre	71,47
Diciembre	72,34

Nota. Datos recuperados de la Estación Agrometeorológica perteneciente al IASA I.

Figura 20

Humedad relativa media del periodo de 20 años.



Presión

Tabla 8

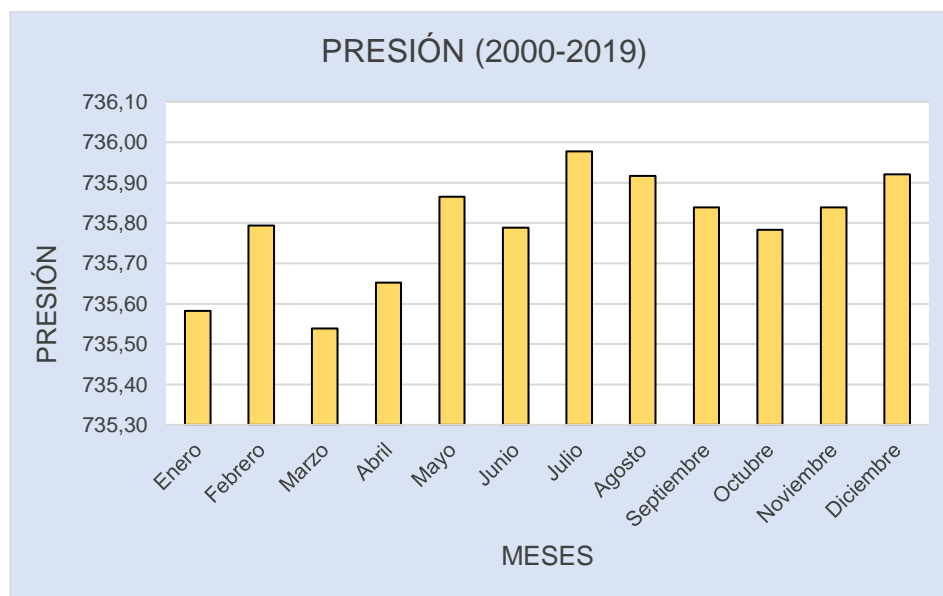
Presión - Hacienda el Prado.

PRESIÓN (2000-2019)	
Enero	735,58
Febrero	735,79
Marzo	735,54
Abril	735,65
Mayo	735,86
Junio	735,79
Julio	735,98
Agosto	735,92
Septiembre	735,84
Octubre	735,78
Noviembre	735,84
Diciembre	735,92

Nota. Datos recuperados de la Estación Agrometeorológica perteneciente al IASA I.

Figura 21

Presión media del periodo de 20 años.



Viento

La dirección de los vientos se presenta de Este – Sur Este con una intensidad promedio de 11 m.

Información de la cuenca hidrográfica

Ubicación

El afluente que abastece de agua a la captación Pailones es una microcuenca de la quebrada el Cabre, el cual está abastecido por los caudales de las quebradas El Rayo y la quebrada el Pulunteo.

La cuenca de dicho afluente se encuentra ubicada en la provincia de Pichincha, al centro norte del Ecuador, el cual limita en las siguientes coordenadas UTM:

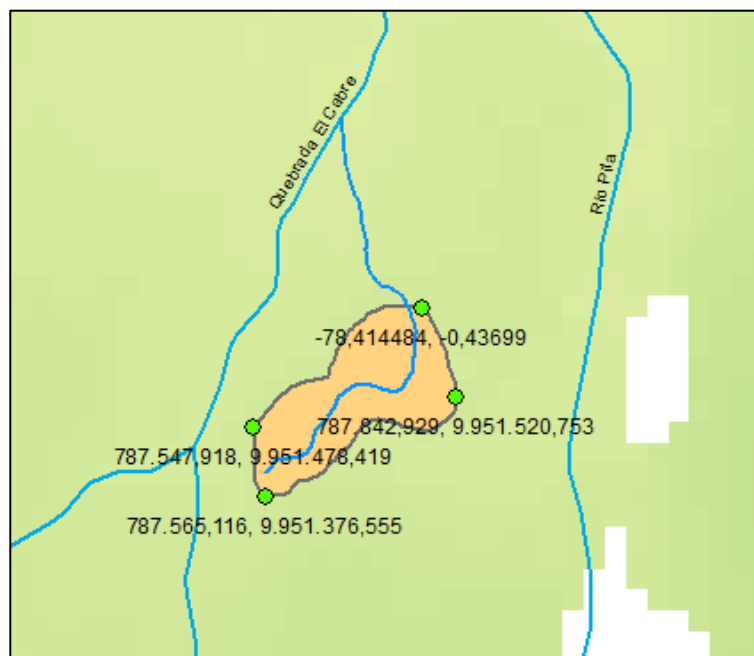
Tabla 9

Coordenadas UTM de la Cuenca.

COORDENADAS	X	Y
Norte	787757,241	9951659,003
Sur	787565,116	9951376,555
Este	787842,929	9951520,753
Oeste	787547,918	9951476,419

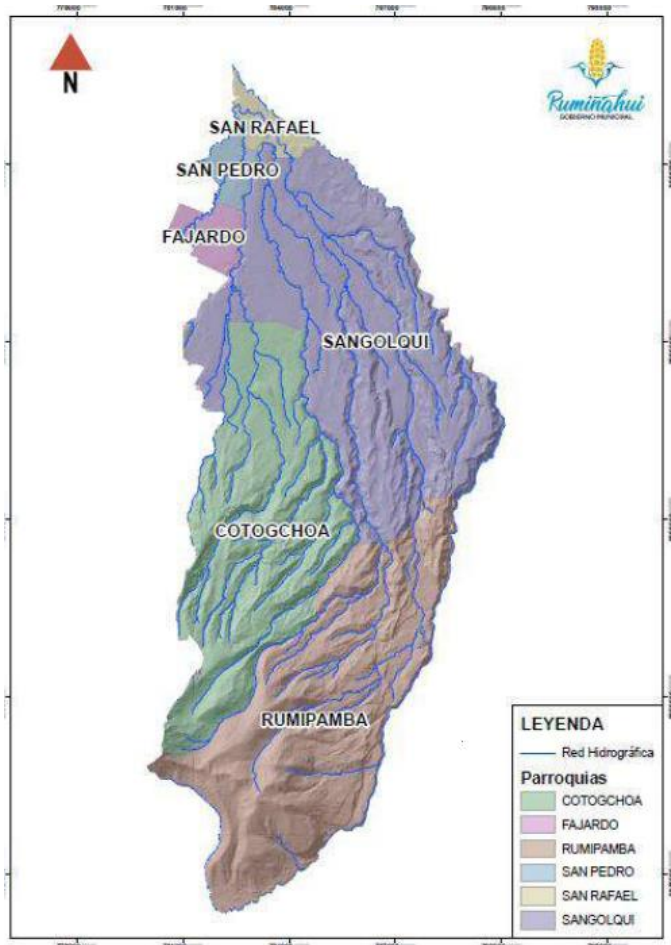
Figura 22

Cuenca hidrográfica.



Nota. Se presenta la localización de la cuenca hidrográfica. Imagen capturada del software ArcGIS.

La quebrada el Cabre se encuentra localizada en la zona centro norte del cantón Rumiñahui, del cual nace el río Santa Clara, quebradas y afluentes.

Figura 23*Cuenca hidrográfica.*

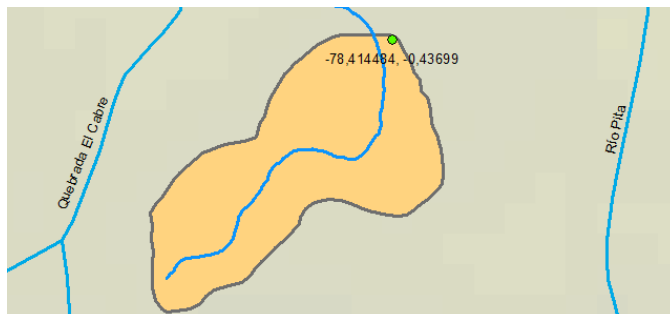
Nota. Recuperado de (Gobierno Municipal de Rumiñahui, 2020)

Delimitación Hidrográfica de la Cuenca

Para realizar el estudio hidrológico, se utilizó un modelo digital de los ríos en escala 1:5000, proporcionado por el Gobierno del Cantón Rumiñahui, y que a su vez mediante el software ArcGIS 10.4.1 se delimitó la cuenca del afluente, ya que el mismo contiene herramientas que nos proporciona la información necesaria para realizar un análisis de todos los datos necesarios para este tipo de estudio, dando como resultado la siguiente cuenca, tomando como punto inicial la obra de captación del IASA:

Figura 24

Delimitación Cuenca hidrográfica.



Geomorfología de la Cuenca

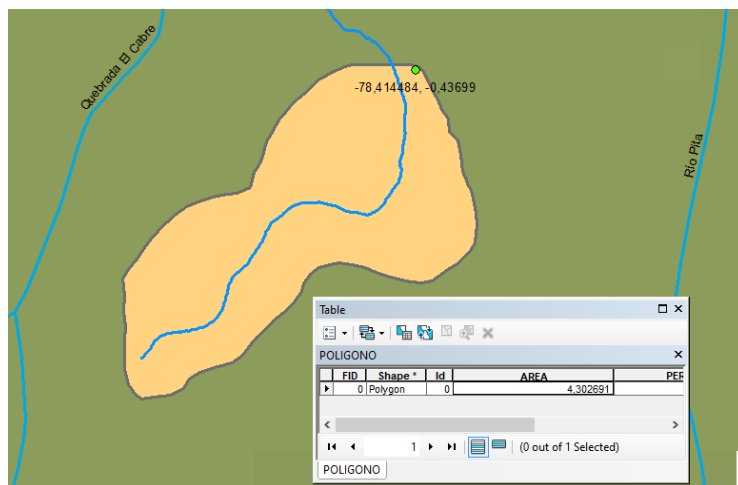
El área de una cuenca (A) es probablemente la característica geomorfológica más importante para una caracterización fisiográfica (Felipe del Ángel, 2017).

En el presente trabajo el área de la Cuenca del afluente fue calculada con el software ArcGIS, dando como resultado 4,3027 ha.

$$A_{AFLUENTE} = 4,3027 \text{ ha}$$

Figura 25

Área de la Cuenca hidrográfica.



Calidad de Agua

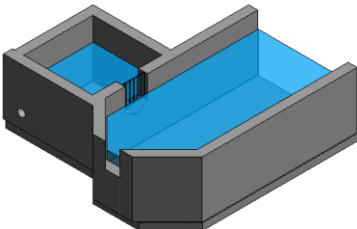
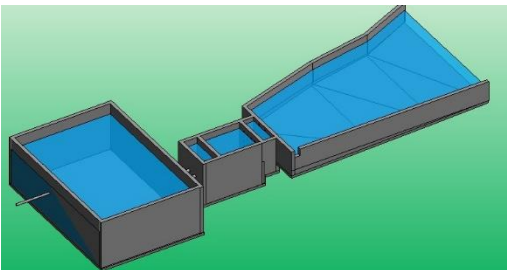
La calidad del agua queda definida por su composición y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de sus componentes, solo o en conjunto, permitiendo de esta forma establecer posibilidades de utilización. La calidad y el contenido del agua de riego tiene dos efectos importantes, a corto plazo influye en la producción, calidad y tipo de cultivo y a largo plazo podrían perjudicar al suelo hasta deteriorarlo y hacerlo no apto para la agricultura (Heredia, 2005).

Puntos de Muestreo

Las muestras se tomaron en 2 puntos como se indica a continuación:

Tabla 10

Puntos de muestreo para análisis de calidad de agua.

Imagen	Nombre del sitio	Longitud	Latitud	Altitud (msnm)
	Captación Pailones	787793,33	9951630,66	3015
	Captación Ganadería	788184	9956380,2	2806

Toma de Muestra

El muestreo es el proceso que se realiza para evaluar la calidad del agua de un lugar y momento determinado.

Para el análisis de calidad, las muestras se recogieron de forma manual, depositándolos en frascos ámbar de un litro de contenido, evitando que la misma se contamine antes de llegar al laboratorio, debido que la calidad de los resultados depende de la integridad de las muestras. Estas fueron etiquetadas con cintas autoadheribles, donde se colocó los nombres correspondientes los diferentes sitios de toma.

Para la preservación de las muestras se utilizó una nevera portátil con hielo, debido a que su análisis no se las realizó in situ y tuvieron que ser conservadas y entregadas tan pronto como sea posible al laboratorio.

Parámetros por analizar en el agua de riego

Los diferentes parámetros que se analizan de las distintas muestras en el laboratorio, nos ayudan a conocer la calidad del agua de riego y si la misma es idónea para su uso.

Tabla 11

Parámetros De Los Niveles De La Calidad De Agua Para Riego (TABLA 4 COA).

PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico	As	mg/l	0,1
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,05
Zinc	Zn	mg/l	2
Cobalto	Co	mg/l	0,01
Cobre	Cu	mg/l	0,2

Cromo	Cr+6	mg/l	0,1
Flúor	F	mg/l	1
PARÁMETRO	EXPRESADO COMO	UNIDAD	CRITERIO DE CALIDAD
Hierro	Fe	mg/l	5
Litio	Li	mg/l	2,5
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Molibdeno	Mo	mg/l	0,001
Níquel	Ni	mg/l	0,2
pH	pH		6-sep
Plomo	Pb	mg/l	5
Selenio	Se	mg/l	0,02
Vanadio	V	mg/l	0,1
Coliformes fecales	NMP	NPM/100ml	1000
Huevos de parásitos			Ausencia
Aceites y grasas	Película Visible		Ausencia
Materia flotante	Visible		Ausencia

Nota. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recursos agua (COA, 2018).

Adicional a esto se considera también utilizar la siguiente tabla con los diferentes parámetros según los criterios antes indicados, para la interpretación de la calidad del agua para riego.

Tabla 12

Parámetros De Los Niveles De La Calidad De Agua Para Riego (TABLA 5 COA).

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	GRADO DE RESTRICCIÓN*		
		Ninguno	Ligero - Moderado	Severo
Salinidad: (1)				
CE (2)	milimhos/cm	0,7	0,7 - 3,0	>3,0
SDT (3)	mg/l	450	450 - 2000	>2000
Infiltración: (4)				
RAS=0-3 y CE=		0,7	0,7 - 0,2	<0,2
RAS=3-6 y CE=		1,2	1,2 - 0,3	<0,3
RAS=6-12 y CE=		1,9	1,9 - 0,5	<0,5
RAS=12-20 y CE=		2,9	2,9 - 1,3	<1,3
RAS=20-40 y CE=		5,0	5,0 - 2,9	<2,9

Toxicidad por iones específicos (5)				
Sodio:				
Irrigación superficial RAS (6)	meq/l	3,0	3,0 - 9,0	>9
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Cloruros:				
Irrigación superficial	meq/l	4,0	4,0 - 10,0	>10
Aspersión	meq/l	3,0	3,0	
Boro:				
	mg/l	0,7	0,7 - 3,0	>3
Efectos misceláneos (7)				
Nitrógeno (N-NO ₃ -)	mg/l	5,00	5,0 - 30,0	>30
Bicarbonato (HCO ₃ -) Solo aspersión	meq/l	1,5	1,5 - 8,5	>8,5
pH	Rango normal		6,5 - 8,4	

Nota. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recursos agua (COA, 2018).

Es el grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego

- (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos
- (2) CE = Conductividad eléctrica del agua de regadío (1 milimhos/cm=1000 micromhos/cm)
- (3) SDT = Sólidos disueltos totales
- (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo
- (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos
- (6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada
- (7) Afecta a los cultivos susceptibles

Para el análisis de las diferentes muestras se contó con los laboratorios pertenecientes a la Facultad de Ciencias Química de la Universidad Central del Ecuador, la cual cuenta con el Servicio de Acreditación Ecuatoriano (SAE), en

cumplimiento con los requisitos establecidos en la norma NTE INEN-ISO/IEC 17025:2006.

Parámetros de análisis de calidad de agua empleada en el riego

Salinidad

La salinidad se define como la concentración de sales minerales disueltas, presentes en el agua o en el suelo, referidas a una unidad de volumen o de peso. Todas las aguas de riego contienen sales disueltas, cuyo tipo y cantidad depende de su origen y del curso que hayan seguido antes de su utilización. Los principales solutos son los cationes Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , y los aniones Cl^- , $\text{SO}_4^{=}$, HCO_3^- , $\text{CO}_3^{=}$ y NO_3^- . También pueden encontrarse otros componentes como B, Sr, Li, SiO_2 , F, Mo, Mn, Ba y Al (Tanji, 1990).

Para el cálculo de salinidad existen diferentes parámetros, la cual suele ser expresada como conductividad eléctrica (CE), cuya unidad de medida puede ser en dS m^{-1} o en mmho cm^{-1} . La salinidad representa la cantidad total de sales inorgánicas disueltas en el agua.

Tabla 13

Calidad del agua de riego según su conductividad eléctrica (milimhos/cm).

Problema Potencial	Grado de Restricción
Ninguno	<0,7
Ligero-Moderado	0,7-3,0
Severo	>3,0

Nota. Recuperado de (COA, 2018).

Tabla 14

Calidad de agua de riego según la cantidad de sales disueltas (mg/litros).

Problema Potencial	Grado de Restricción
Ninguno	450
Ligero-Moderado	450-2000
Severo	>2000

Nota. Recuperado de (COA, 2018).

Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua en la superficie de la tierra entra en el suelo. La tasa de infiltración, en la ciencia del suelo, es una medida de la tasa a la cual el suelo es capaz de absorber la precipitación o la irrigación. Las disminuciones de tasa hacen que el suelo se sature. Está relacionada con la conductividad hidráulica saturada del suelo cercano a la superficie (Perez, s.f.).

Para obtener la Relación de Adsorción de Sodio se determina por la siguiente fórmula:

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}} \quad (1)$$

Donde:

- SAR= Relación de adsorción de sodio (adimensional);
- Ca= Concentración de calcio en el agua (me/L)
- Mg= Concentración de magnesio en el agua (me/L)
- Na= Concentración de sodio en el agua (me/L)

Tabla 15

Relación de Absorción de Sodio (RAS).

Grado de Restricción	RAS
Bajo	0 – 10
Medio	10 – 18
Alto	18 – 26
Muy Alto	Más de 26

Nota. Recuperado de (Cánovas Cuenca, 1986).

Alcalinidad

La alcalinidad o basicidad del agua, es la medida de la capacidad para neutralizar ácidos. A diferencia del pH, que indica si una solución es un ácido o una base, la alcalinidad expresa cuánto ácido puede absorber una solución sin cambiar el pH. Es esencialmente, la capacidad amortiguadora de una solución. Por lo tanto, las soluciones con baja alcalinidad tienen una menor capacidad de amortiguación y cambian el pH con bastante rapidez cuando se agrega algo ácido (Mkthanna, 2020).

Los resultados fueron comparados con los rangos permisibles de alcalinidad según (Kevern, 1989), ya que no existe un valor de límite máximo del parámetro solicitado en la Normativa Ecuatoriana.

Tabla 16

Rangos permisibles de alcalinidad (mg/L CaCO₃).

RANGO	ALCALINIDAD (mg/L CaCO₃)
Bajo	< 75
Media	75 – 150
Alta	> 150

Nota. Recuperado de (Kevern, 1989).

Comportamiento Del Ph

El pH del agua de riego es un parámetro importante, debido a que nos da información en los riesgos y los beneficios en cuanto el pH es ligeramente bajo puede tener un sabor amargo o metálico, el cual contribuye a la corrosión y si el pH es alto representa un riesgo para la salud y puede causar problemas estéticos.

Tabla 17

Rangos permisibles de pH.

RANGO	pH
Normal	6,5 a 8,4

Nota. Recuperada de (COA, 2018).

Toxicidad

En el análisis de agua los problemas de toxicidad se dan por ciertos iones que dañan los cultivos o reducen significativamente la producción, los principales elementos que provocan toxicidad son el cloruro, boro y sodio (COA, 2018).

Para el cálculo del cloruro se aplica el Método de Knudsen.

$$S \text{ (ppm)} = 1,80655 * Cl \text{ (ppm)} \quad (2)$$

$$Cl \text{ (°/oo)} = \frac{S \text{ (°/oo)}}{1,80655}$$

Donde:

Cl: Cloruro

S: Salinidad

Ppm: partes por mil

Tabla 18

Rangos permisibles de toxicidad.

Problema Potencial	Grado de Restricción		
	SODIO	CLORURO	BORO
Ninguno	<3	<4	<0,7
Ligero-Moderado	3 - 9	4 - 10	0,7 - 3
Severo	>9	>10	>3

Nota. Recuperado de (COA, 2018).

Sistemas de la red principal de riego y drenaje

Sistema de Riego

El sistema de riego es el conjunto de obras de ingeniería hidráulica cuya finalidad es la conducción de caudal desde la fuente hídrica hasta la zona de cultivos, y producción agrícola. Para un adecuado diseño de este sistema se debe considerar la topografía y características del terreno, además el dimensionamiento de las estructuras hidráulicas depende del tipo de caudal, el cual se va a transportar.

Aforamiento del caudal en la conducción

Para el cálculo del caudal en las captaciones y tramos de la conducción del sitio de estudio, se procedió a utilizar el método del flotador, el cual es el más empleado en campo por ser fácil y rápido para aforar el caudal que circula por una sección transversal. Este método se basa en que los objetos utilizados se mueven a misma velocidad que el agua en la cual flotan, tomando en cuenta que la velocidad del viento no debe influir en la medición

Factores por considerar en el Sistema de Riego

Figura 26

Factores por considerar en el sistema de riego.



Nota. Recuperado de (Criollo & Sotelo, 2017).

Componentes de un Sistema de Riego

Figura 27

Componentes de un sistema de riego.



Sistema de Drenaje Vial

Red de Drenaje Vial

Obra hidráulica dispuesta a la recolección del exceso de aguas lluvias, que, mediante un conjunto de drenes, canalizan el exceso hacia la red de saneamiento o a un desaguadero (Morales, 2010).

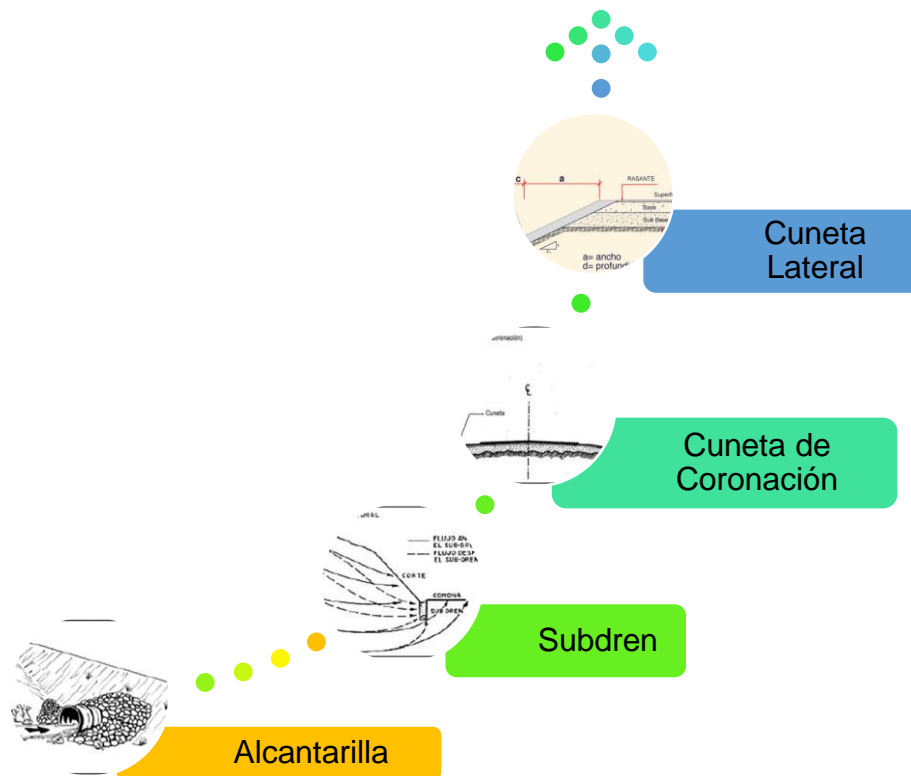
Obras de Drenaje

Las estructuras de las carreteras que controlan el drenaje se dividen en obras de drenaje de arte menor (longitudinal y transversal) y obras de drenaje de arte mayor consideradas en la (MTO, 2003).

Para el presente proyecto se analizarán las obras de drenaje de arte menor, las cuales se presentan a continuación:

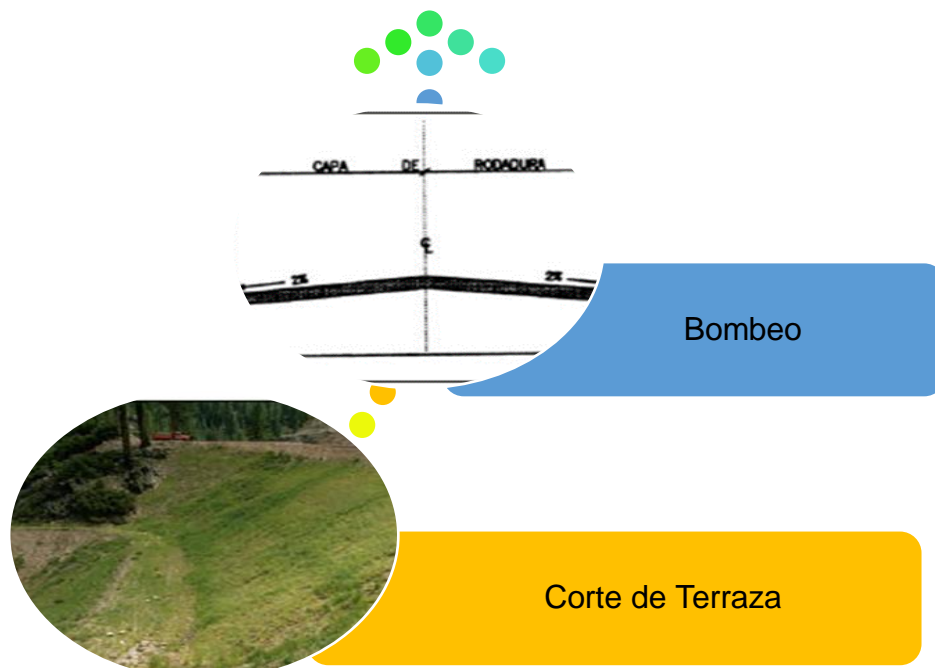
Figura 28

Componentes de una obra de drenaje menor.



Obras Complementarias

Son obras que se deben realizar solamente en el lugar en que se requieran. Las significativas, se detallan a continuación (MTO, 2003).

Figura 29*Obras Complementarias.***Sistema de Drenaje Agrícola****Drenaje Agrícola**

El drenaje superficial puede eliminar los excesos originados por las precipitaciones en la superficie de la tierra. El drenaje de tierras agrícolas tiene como objeto eliminar los sobrantes de agua del suelo, con el fin de mantener las condiciones necesarias de aireación y actividad biológica del mismo, para que las plantas puedan desarrollar los procesos de crecimiento de su sistema radical y, por ende, de su parte aérea (Colina, 1997).

Drenaje Superficial

Se puede lograr mediante zanjas abiertas, y modelando la superficie del terreno para que el agua pueda llegar a las zanjas. El drenaje superficial se puede aplicar en sitios planos donde (Hidalgo, 2012):

- Los suelos tengan una baja permeabilidad, por ejemplo, los suelos arcillosos.
- Los suelos tengan poca profundidad, es decir de 20 a 25 centímetros sobre el subsuelo o la roca de baja permeabilidad.
- Los suelos podrían responder al drenaje subsuperficial, pero carecen de salida subsuperficial libre.
- El drenaje subsuperficial no sea económicamente factible.
- El drenaje superficial suplementa al drenaje subsuperficial.

Capítulo III

Resultados y Discusión

Análisis funcional de la estructura de conducción del sistema de riego

El diagnóstico funcional de la estructura de un sistema de riego consiste en evaluar la eficiencia técnica en la movilización, el transporte y la distribución actual del agua, así como también se detecta problemas hidráulicos de la red en cuanto a su construcción o mantenimiento en la cual se evalúan pérdidas y filtraciones en los canales, obras o tramos en mal estado, permitiéndonos entender de mejor forma la distribución del agua según las necesidades del lugar.

Por esta razón se desarrolló un cuadro en el cual se irá detallando cada tramo y elemento evaluado, la descripción, calificación y su respectiva evidencia fotográfica, el cual tendrá una calificación de acuerdo con su estado, esta calificación se la dará con un valor decreciente siendo 5 muy bueno hasta 0 pésimo.

Tabla 19



Análisis funcional de la estructura de conducción del sistema de riego.

DAÑO DE CONDUCCIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO	
CUADRO DE CALIFICACIÓN	
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
0	Pésimo: Tramos obstruidos, colapso o presencia de fugas mayores
1	Muy Malo: Pérdidas de las secciones de PVC con presencia de fugas moderadas
2	Malo: Roturas de los elementos de PVC con presencia de fugas o daños mayores en las infraestructuras de hormigón
3	Regular: Los elementos presentan roturas en las tuberías de PVC o daños menores en la infraestructura de hormigón
4	Bueno: Existen problemas menores y la infraestructura presenta deterioros sin importancia
5	Muy Bueno: No se identifican problemas

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
CAPTACIÓN	<p>Infraestructura de hormigón compuesta de un tanque de reserva cuyas dimensiones son: 1,40m x 1,40m y un canal abierto de dimensiones: 3,20m x 2,00m con una compuerta de 90cm y otra de 50cm. La infraestructura presenta leves agrietamientos y se encuentra a 3015 msnm.</p>		4
RESERVORIO	<p>El reservorio se encuentra en el IASA a 3045 msnm, sus dimensiones son: 85mx35mx3m de altura. En este momento se encuentra inhabilitada debido a que se está realizando limpieza. Esta infraestructura se encuentra revestida con geomembrana, presenta un ligero resquebrajamiento de la protección.</p>		4

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
VÁLVULA	<p>Infraestructura de hormigón en el IASA a 3013 msnm, sus dimensiones son: 1,20mx1,00m., presenta en su interior una válvula la cual está conectada a la tubería con diámetro de 160mm.</p> <p>Se observaron ligeros agrietamientos en la infraestructura de hormigón.</p>		4
TUBERÍA	<p>Presenta una tubería de acero la cual tiene un diámetro de 160mm y se encuentra en buen estado.</p>		5

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
<p>VÁLVULA DE CONTROL DE AIRE</p>	<p>Válvula de control de aire está conectada a la tubería con un diámetro de 63mm ubicada en el IASA a 3003 msnm. Se encuentra en buen estado.</p>		<p>5</p>
<p>CASETA DE FILTRADO</p>	<p>La infraestructura de la caseta de filtrado es de ladrillo con dimensiones de: 1,50m x 2,00m y se encuentra en el IASA a 2944 msnm. No presenta fugas y está en buen estado.</p>		<p>5</p>

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
VÁLVULA DE CONTROL DE AIRE	Válvula de control de aire está conectada a la tubería con un diámetro de 63mm, ubicada a 2945 msnm. Se encuentra en buen estado.		5
HIDRANTE	Los hidrantes se encuentran en buen estado, ubicado a 2952 msnm.		5



ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
VÁLVULA DE CONTROL DE AIRE E HIDRANTE	La válvula e hidrante se encuentran en buen estado. La válvula de control de aire está conectada a una tubería de 63mm.		5
CANAL ABIERTO	Infraestructura de hormigón cuyas dimensiones son: de 50 cm la compuerta principal, la cual se encuentra en óptimas condiciones.		4

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
CANAL ABIERTO	La infraestructura se encuentra a 2865 msnm con un ancho de 17cm, presenta pequeños agrietamientos los cuales no influyen en el correcto funcionamiento del canal.		5
CANAL ABIERTO	Se encuentra a 2861 msnm, cuyas dimensiones son: 50cm de ancho, 50cm de largo y 1m de profundidad, el cual está en buen estado y funciona correctamente.		5

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
TANQUE DE RESERVA	<p>La infraestructura es irregular, se encuentra a 2806 msnm, está en óptimas condiciones de funcionamiento, con un perímetro 34,95 m. Presenta agrietamientos en las esquinas de la infraestructura.</p>		4
DESARENADOR	<p>La infraestructura se encuentra a 2815 msnm, cuyas dimensiones son: 2,46m x 4,52m con una profundidad de 2,75m. La infraestructura se encuentra dividida en tres secciones. Presenta agrietamientos en las partes laterales debido a la erosión.</p>		4

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
VÁLVULA	La válvula se encuentra a 2822 msnm con un diámetro de 110 mm, no presenta daños.		5
RESERVORIO DE AGUA POTABLE	La infraestructura se encuentra 2762 msnm, y está en óptimas condiciones para el almacenamiento de agua.		5

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
CONEXIÓN DE RAMALES	Las tuberías se encuentran a 2814 msnm, su funcionamiento es óptimo con un diámetro 63mm.		5
CASETA DE TRATAMIENTO	Esta estructura se encuentra a 2761 msnm, donde se trata el agua para su distribución.		5

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
VÁLVULA DE AIRE	La válvula de aire se encuentra en buen funcionamiento, no presenta daños en el exterior y presenta un diámetro de 63 mm.		5
VÁLVULA DE AIRE	La válvula se encuentra a 2791 msnm no presenta daños, pero necesita mantenimiento.		4

Análisis funcional de la estructura del sistema de drenaje vial

El diagnóstico funcional de la estructura de un sistema de drenaje vial consiste en evaluar la eficiencia técnica para el control y manejo efectivo del agua en la vía, así como también se detecta problemas de la red en cuanto a su construcción o mantenimiento en la cual se evalúan la recolección, encauzamiento y disposición de las aguas pluviales, tanto superficiales, como subterráneas, así como también obras o tramos en mal estado, permitiéndonos entender las falencias del drenaje vial (S.A., 2014).

Por esta razón se desarrolló un cuadro en el cual se irá detallando cada tramo y elemento evaluado, la descripción, calificación y su respectiva evidencia fotográfica, el cual tendrá una calificación de acuerdo con su estado, esta calificación se la dará con un valor decreciente siendo 5 muy bueno hasta 0 pésimo.

Tabla 20

Análisis funcional de la estructura de conducción del sistema de drenaje vial.

DAÑO DE CONDUCCIÓN DE DRENAJE VIAL			
CUADRO DE CALIFICACIÓN			
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN		
0	Pésimo: Tramos obstruidos, colapso o presencia de inundaciones		
1	Muy Malo: Pérdidas o falta de las secciones de hormigón con presencia de inundaciones moderadas		
2	Malo: Daños mayores en las infraestructuras de hormigón		
3	Regular: Daños menores en la infraestructura de hormigón		
4	Bueno: Existen problemas menores y la infraestructura presenta deterioros sin importancia		
5	Muy Bueno: No se identifican problemas		
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE VIAL	Este tramo de la vía se encuentra en mal estado, sin mantenimiento y obstruyendo el flujo del agua.		2
VÍA	Este tramo no cuenta con vía ni drenaje vial, con un ancho de vía de 6 metros aproximadamente, tiene un carril por sentido		1

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE VIAL	La vía no se encuentra en óptimas condiciones en el tramo administrativo a Pailones, no presenta drenaje vial en ninguno de los dos lados.		2
DRENAJE VIAL	El drenaje vial de este tramo se encuentra en malas condiciones y falta de mantenimiento.		4

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE VIAL	El drenaje vial se encuentra en mal estado y con falta de mantenimiento.		3
DRENAJE VIAL	En este tramo el drenaje vial hace falta mantenimiento, la vía está en mal estado. Tiene aproximadamente 6 metros.		3

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE VIAL	<p>En este tramo de aproximadamente 100 metros de longitud, la vía se encuentra en mal estado, el agua no circula adecuadamente por la falta de drenaje vial.</p>		3
DRENAJE VIAL	<p>En este tramo se evidencia un drenaje vial improvisado el cual no cumple con un funcionamiento adecuado para la evacuación de aguas lluvias.</p>		2

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE VIAL	El drenaje vial se encuentra en estado de colapso y sin un funcionamiento adecuado.		2
DRENAJE VIAL	En este tramo se evidencia falta de mantenimiento por lo cual el funcionamiento es el incorrecto, además la vía se encuentra en mal estado.		5

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE VIAL	El drenaje vial no presenta mantenimiento por lo cual el agua no fluye con normalidad.		3
DRENAJE VIAL	En este tramo de vía existe drenaje vial pero solo a un lado de la vía.		4

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE VIAL	En este tramo se evidencia drenaje vial a un solo lado de la vía, está funcionando correctamente, pero la vía no se encuentra en un estado óptimo.		4
DRENAJE VIAL	En este tramo se evidencia que el drenaje vial no está funcionando adecuadamente.		2

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE VIAL	<p>El drenaje vial de este tramo se encuentra en óptimas condiciones para su funcionamiento, el problema que se presenta es que solo existe drenaje a un lado de la vía.</p>		5
DRENAJE VIAL	<p>El drenaje se encuentra en buen estado y funciona adecuadamente.</p>		5

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE VIAL	<p>En este tramo el drenaje presenta deterioro en su infraestructura por lo cual no cumple con su funcionamiento adecuado.</p>		3
DRENAJE VIAL	<p>El drenaje se encuentra en óptimas condiciones para su funcionamiento, aunque presenta pequeños agrietamientos.</p>		4

Análisis funcional de la estructura del sistema de drenaje agrícola

El diagnóstico funcional de la estructura de un sistema de drenaje agrícola consiste en evaluar la eficiencia técnica para eliminar rápidamente el agua estancada, así permitiendo la evacuación del agua se mueva a través del suelo y elimine el agua libre haciendo que el suelo se caliente con mayor facilidad y estimulando la actividad bacteriana, por lo tanto, permitiendo que se pueda sembrar rápidamente y mejorar las condiciones de germinación para las semillas.

Por esta razón se desarrolló un cuadro en el cual se irá detallando cada tramo y elemento evaluado, la descripción, calificación y su respectiva evidencia fotográfica, el cual tendrá una calificación de acuerdo con su estado, esta calificación se la dará con un valor decreciente siendo 5 muy bueno hasta 0 pésimo.

Tabla 21

Análisis funcional de la estructura de conducción del sistema de drenaje agrícola.

DAÑO DE DRENAJE AGRÍCOLA			
CUADRO DE CALIFICACIÓN			
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN		
0	Pésimo: Tramos obstruidos, colapso o inexistentes		
1	Muy Malo: Pérdidas de las secciones con presencia de inundaciones moderadas		
2	Malo: Daños mayores en las infraestructuras de hormigón		
3	Regular: Daños menores en la infraestructura de hormigón		
4	Bueno: Existen problemas menores y la infraestructura presenta deterioros sin importancia		
5	Muy Bueno: No se identifican problemas		
ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN	CALIFICACIÓN
DRENAJE AGRÍCOLA	El drenaje que se presenta en el invernadero es de una zanja abierta el cual elimina el exceso de agua.		4

Posteriormente al diagnóstico de las estructuras hidráulicas presentes en el sitio de estudio, se ha considerado realizar el rediseño de los sistemas antes mencionados, cuyas funciones permitirá el uso y aprovechamiento racional del recurso hídrico, brindando así una alternativa viable y eficiente que beneficiará a los pobladores de la hacienda el Prado, IASA I, y cuyo diseño se adaptará a la topografía y condiciones de terreno y a un nivel socioeconómico del sector.

Resultados De Análisis De Calidad De Agua Empleada En El Riego.

Salinidad

Conductividad Eléctrica

Como se aprecia en la siguiente tabla los resultados obtenidos del laboratorio a partir de las muestras, tanto de la captación de Pailones como la captación de ganadería poseen unas conductividades eléctricas inferiores de 0,7 mg/litros, por lo que el agua no presenta ningún grado de restricción para el riego.

Tabla 22

Conductividad Eléctrica en cada uno de los puntos de muestreo (milimhos/cm).

FUENTE	VALORES DE CE (milimhos/cm)	Criterio de evaluación según norma COA (2018)
Captación Pailones	0,189	Ninguno
Captación Ganadería	0,199	Ninguno

Nota. Resultados tabulados de análisis

En cuanto al total de sólidos disueltos podemos observar que en los dos puntos de análisis son inferiores a 400 mg/litros, el cual nos indica que no presenta algún problema potencial en concentración de las sales disueltas en el agua.

Sólidos Disueltos (TDS)

Para el cálculo de los Sólidos disueltos totales se obtiene con la siguiente expresión:

$$TDS (mg/L) = K * CE(ds/m) \quad (3)$$

Donde:

- TDS = Sólidos disueltos totales
- CE = Conductividad eléctrica
- K = 640 para la mayoría de los casos
- K = 735 para aguas mezcladas
- K = 800 para CE > 5 ds/m

Captación Pailones

$$TDS (mg/L) = 640 * 0.1895 (ds/m) = 121.28 \text{ mg/L}$$

El valor de sólidos disueltos totales es 121.28 mg/L es decir una salinidad de 1.21%

Captación Ganadería

$$TDS (mg/L) = 640 * 0.1994 (ds/m) = 127.616 \text{ mg/L}$$

El valor de sólidos disueltos totales es 127.62 mg/L es decir una salinidad de 1.28%.

Tabla 23

Sólidos disueltos totales (TDS) en mg/L en cada uno de los puntos de muestreos.

FUENTE	VALORES DE TDS (mg/L)	Criterio de evaluación según norma COA (2018)
Captación Pailones	121,28	Ninguno
Captación Ganadería	127,616	Ninguno

Nota. Resultados tabulados de análisis.

Infiltración

En la siguiente tabla se muestran los valores correspondientes al RAS de cada una de las muestras, la cual indica que no existe restricción del agua para el riego, ya que los resultados se encuentran por debajo de los valores establecidos, demostrando que no puede producirse compactación del suelo por problemas de salinidad, producida por el sodio.

Tabla 24

Relación de Absorción de Sodio (RAS).

FUENTE	RAS	Criterio de evaluación según norma COA (2018)
Captación Pailones	0,9	Bajo
Captación Ganadería	1,2	Bajo

Nota. Resultados tabulados de análisis.

Alcalinidad

En la siguiente tabla se puede observar los resultados de la alcalinidad total obtenidos del laboratorio de cada una de las muestras, la cual se puede apreciar que oscilaron entre 75-150 en un rango medio, la cual significa que el límite de alcalinidad permisible para el uso del agua en la agricultura no sobrepasa los rangos permisibles, lo cual no difiere significativamente en la calidad del agua siendo este ideal para que no exista incrustaciones en las tuberías. Cada valor registrado representa la cantidad de bicarbonatos (HCO_3), carbonatos (CO_3^{-2}) e hidróxidos (OH^{-1}) de calcio, magnesio, sodio, hierros presentes en el agua (Cárdenas, 2005).

Tabla 25

Alcalinidad (mgCaO3/L) en cada uno de los puntos de muestreos.

FUENTE	Alcalinidad mgCaO3/L	Criterio de evaluación según Kevern (1989)
Captación Pailones	79	Ninguno
Captación Ganadería	82	Ninguno

Nota. Resultados tabulados de análisis.

Comportamiento del pH

Los resultados del análisis realizado en el agua de los distintos puntos de muestreo y su interpretación según la norma se presentan en la siguiente tabla, en la cual se aprecia los valores de pH de 6,90 en el primer punto de muestreo (Captación Pailones) este valor puede estar dado por el dióxido de carbono disuelto que hace que aumente ligeramente la acidez del agua y 7,00 en el segundo punto (Captación Ganadería) este valor clasifica al agua como neutra.

Tabla 26

Comportamiento pH en cada uno de los puntos de muestreos.

NOMBRE DEL SITIO	pH	Valores de CE (ds/m)	Criterio de evaluación
Captación Pailones	6,90	0,1895	Rango Normal
Captación Ganadería	7,00	0,1994	Rango Normal

Nota. Resultados tabulados de análisis.

Toxicidad del agua

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos de dichos iones en cada uno de los puntos de muestra y su interpretación de acuerdo con la norma (COA, 2018).

Captación Pailones

$$Cl (mg/L) = \frac{121,28 (mg/L)}{1,80655} = 67,134$$

Cloro (CL)

- Valencia = 1
- Peso atómico = 35,5

$$Cl = \frac{67,134}{35,5} * 1 = 1,89 meq/L$$

Captación Ganadería

$$Cl (mg/L) = \frac{127,62 (mg/L)}{1,80655} = 70,643$$

$$Cl = \frac{70,643}{35,5} * 1 = 1,9899 meq/L$$

Tabla 27

Valores de iones y toxicidad.

NOMBRE DEL SITIO	Cloruro (meq/L)	Boro (mg/L)	Sodio (meq/L)
Captación Pailones	1,89	0,9	1,29
Captación Ganadería	1,99	0,6	1,11

Nota. Resultados tabulados de análisis

Los valores analizados de los iones de cloruro, boro y sodio se encuentran en un rango óptimo, lo cual nos indica que no existe riesgo de toxicidad en las plantas, independientemente del método de riego que se aplique, por lo tanto, el uso del agua evaluada garantiza su idoneidad para el riego sin que se produzca afectación en el cultivo.

Nutrientes en el agua de riego

Los nutrientes tienen como funciones importantes el metabolismo y fotosíntesis en las plantas, por lo cual es necesario conocer la cantidad de estas sustancias que se encuentran en el agua de riego. En la siguiente Tabla se expresan los resultados que se obtuvieron en los análisis.

Tabla 28

Valores de nutrientes en los análisis de los puntos de muestra.

NOMBRE DEL SITIO	NUTRIENTES		
	Fosfato (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Potasio (mg/L)
Captación Pailones	0,6	2	1,9
Captación Ganadería	0,6	1	2,3

Nota. Resultados tabulados de análisis.

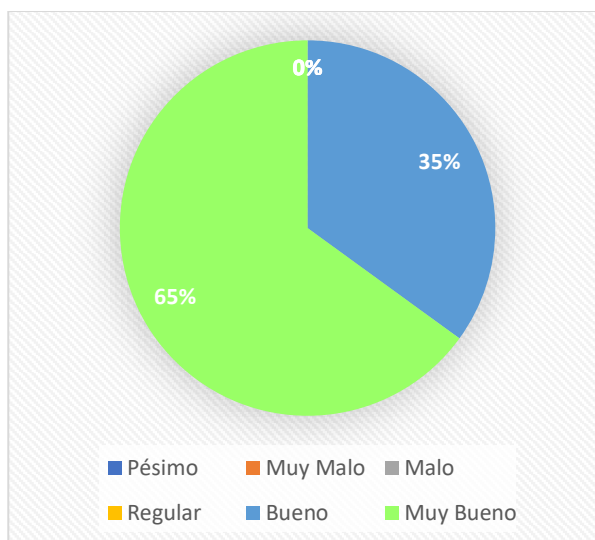
Los valores evaluados de los resultados obtenidos en laboratorio, se puede estimar que las aportaciones de nutrientes que contiene el agua de cada una de las muestras son indispensables para que exista un mejor desarrollo de las plantas.

Resultados de la evaluación de los sistemas de la red principal de riego.

Habiendo realizado el diagnóstico funcional de la estructura se obtuvo una valoración de daños mínimos, como se puede apreciar en la siguiente imagen:

Figura 30

Diagnóstico funcional de la estructura.



En base al dato anterior se pudo comprobar la funcionalidad y la conformidad de los pobladores de la Hacienda con el servicio de la dotación de agua para riego, adicional a esto existe mantenimiento continuo y reparaciones de las tuberías en diferentes tramos de la línea de conducción, por lo cual se consideró que se encuentran en buen estado.

Plano de la red

Para efectuar el rediseño de la conducción de la red principal de abastecimiento, es necesario conocer el estado actual de la instalación existente en la Hacienda el Prado, además es de suma importancia conocer los diferentes parámetros que conforman el sistema de riego como son: la localización de las conducciones, diámetros nominales, válvulas, entre otros elementos.

El levantamiento de la red existente se obtuvo con la ayuda de un trabajador de la institución, quien es el encargado del mantenimiento de esta, ya que no existe una información detallada del actual sistema de riego.

Finalmente, este mapa también contiene una leyenda que da una idea de los tamaños de las conducciones, el cual se encuentra el ANEXO A-I.

Diseño hidráulico

Estimación de caudales

Para la estimación de los caudales medios mensuales de descarga de la cuenca, se utilizó la fórmula del Método Racional, cuya fórmula será directamente proporcional a la intensidad de precipitación mensual, el área de la cuenca y el coeficiente de escurrimiento.

$$Q = C.I.A \quad (4)$$

Dónde:

Q: caudal máximo en m³/s

C: coeficiente de escorrentía

I: intensidad de lluvia en mm/hora

A: área de drenaje de la cuenca en ha

Coeficiente de escorrentía

Para obtener el valor C se utilizó la Tabla IX.5 propuesta por la (MTO, 2003), la misma que se seleccionó según el tipo de cobertura de la zona de estudio y su condición topográfica. Debido a que el sitio de estudio está conformado por una cobertura vegetal (Hierba-Grama), teniendo un suelo permeable con pendiente media de un 20%, se asumió un coeficiente de escorrentía de 0,20. Una vez obtenido todos los datos, se aplicó la fórmula de método racional, obteniendo a continuación los caudales mensuales del afluente que proporciona agua a la captación.

Tabla 29

Tabla de Caudales mensuales.

Mes	Precipitación Total Promedio Mensual multianual [mm/mes]	i [mm/hr]	Q río [m³/s]
1	129,04	0,18	0,15
2	132,64	0,18	0,16
3	168,62	0,23	0,20
4	145,91	0,20	0,17
5	102,20	0,14	0,12
6	45,04	0,06	0,05
7	26,23	0,04	0,03
8	31,97	0,04	0,04
9	48,76	0,07	0,06
10	138,61	0,19	0,17
11	156,01	0,22	0,19
12	159,48	0,22	0,19

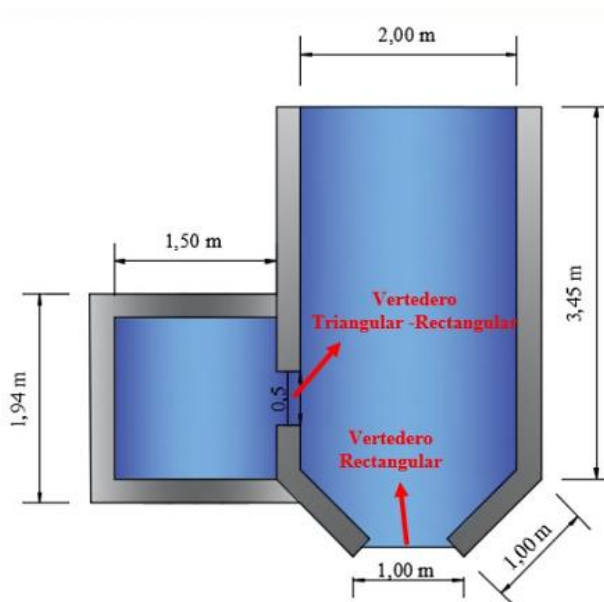
Habiendo revisado los datos, se puede apreciar que el caudal calculado por el método de los flotadores en el mes de marzo, a través de los datos tomados en campo, coincide con el estudio realizado mediante el análisis de la cuenca hidrográfica.

Captación

La red principal del sistema de riego por tubería está constituida por una obra de toma en el afluente de la quebrada el Cabre, ubicada en el sector Pailones a una altitud de 3015 msnm, en la cual se captará diferentes caudales, considerando las distintas precipitaciones de cada mes.

Figura 31

Captación Pailones.



Por lo tanto, se obtuvo un caudal mínimo de 0,03135 m³/s, el mismo que deberá garantizar la funcionalidad de la estructura hidráulica.

Canal Abierto

Aplicando cálculos hidráulicos, se determina el diagnóstico del diseño actual del canal abierto, para así conocer si su funcionalidad cumple con un diseño óptimo en cuanto al abastecimiento del agua. Este análisis se realizó en un tramo del canal de la captación de Pailones, en el cual se obtiene la siguiente capacidad:

$$Q = \frac{1}{n} * R^{2/3} * A * S^{1/2} \quad (5)$$

Dónde:

R: Radio hidráulico

A: Área

S: Pendiente

N: Coeficiente de rugosidad

El valor por utilizar para el coeficiente de rugosidad “n” es de 0,012, tomado de la tabla 2.1 del libro Principios de la Hidráulica II (Ing. Washington Sandoval PhD., 2013).

Se iteró la altura del canal abierto, hasta obtener un caudal cercano al requerido.

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de dichos datos antes mencionados:

Tabla 30

Cálculo de Caudal de canal abierto.

MESES	H	Q	n	A	So	R
1	0,126	0,154	0,012	0,252	0,001	0,112
2	0,128	0,158	0,012	0,256	0,001	0,113
3	0,149	0,201	0,012	0,298	0,001	0,130
4	0,136	0,174	0,012	0,272	0,001	0,120
5	0,108	0,121	0,012	0,217	0,001	0,098
6	0,066	0,054	0,012	0,131	0,001	0,062
7	0,047	0,032	0,012	0,095	0,001	0,045

8	0,053	0,039	0,012	0,107	0,001	0,051
9	0,069	0,058	0,012	0,138	0,001	0,065
10	0,132	0,166	0,012	0,264	0,001	0,116
11	0,142	0,186	0,012	0,284	0,001	0,124
12	0,144	0,191	0,012	0,288	0,001	0,126

Vertedero

Se construye un vertedero con el objetivo de que el agua circule limpia, evitando menos turbulencia y menos materiales en suspensión con la ayuda de una rejilla, por lo tanto, la obra de captación está constituido por dos vertederos uno de forma triangular y rectangular y el otro de forma rectangular.

Por consiguiente, se realiza el análisis hidráulico del cual se obtendrá el caudal de ingreso hacia el reservorio y el de salida hacia el canal natural, aplicando las siguientes fórmulas:

Vertedero rectangular

$$Q = \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * L * H^{3/2} \quad (6)$$

$$L = L' - 0,1 * n * H \quad (7)$$

Dónde:

Q: Caudal (m³/s)

G: Gravedad (m/s²)

N: Número de contracciones = 2

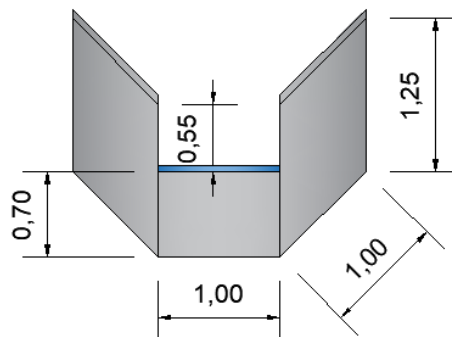
L': Ancho del vertedero (m) = 1

L: Longitud (m)

H: Altura (m)

Figura 32

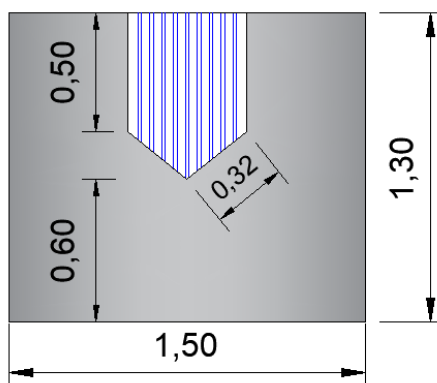
Vertedero rectangular.

**Vertedero triangular-rectangular**

$$Q = \frac{8}{15} * \sqrt{2g} * \tan\frac{\theta}{2} * H^{5/2} + \frac{2}{3} * \sqrt{2g} * L * H^{3/2} \quad (8)$$

Figura 33

Vertedero triangular-rectangular.



En la siguiente tabla se presentan los caudales calculados que circulan por los vertederos existente, por cada mes, iterando la altura H sin que esta sea excesiva, hasta encontrar una altura real:

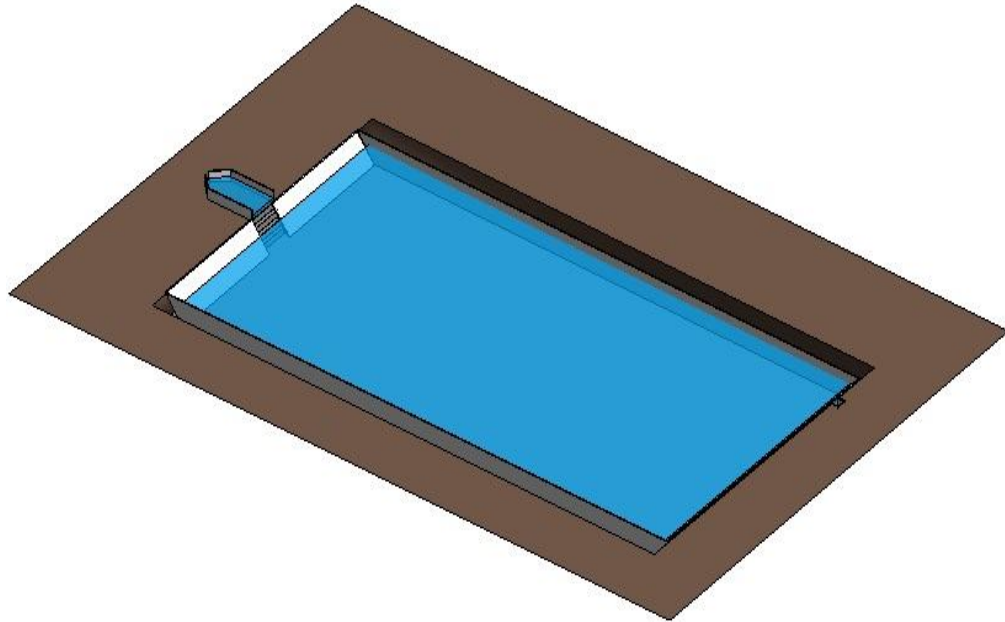
Tabla 31

Cálculos hidráulica de caudal de entrada y salida del vertedero.

MES	L (m)	H (m)	Q VERTEDERO RECTANGULAR (m ³ /s)	H TOTAL (m)	H VERTEDERO TOTAL (m)	H VERTEDERO RECTANGULAR (m)	Q VERTEDERO TRIANG-RECTAN (lt/s)
1	0,97	0,14	0,153244	0,84	0,24	0,04	77,6681
2	0,97	0,14	0,157577	0,84	0,24	0,04	80,0810
3	0,97	0,17	0,201536	0,87	0,27	0,07	106,9953
4	0,97	0,15	0,174387	0,85	0,25	0,05	89,8986
5	0,98	0,12	0,121379	0,82	0,22	0,02	61,9372
6	0,99	0,07	0,053497	0,77	0,17	0,00	35,1948
7	0,99	0,05	0,031174	0,75	0,15	0,00	25,2116
8	0,99	0,06	0,038001	0,76	0,16	0,00	28,2384
9	0,99	0,07	0,057972	0,77	0,17	0,00	37,2360
10	0,97	0,15	0,165657	0,85	0,25	0,05	84,7150
11	0,97	0,16	0,186466	0,86	0,26	0,06	97,3383
12	0,97	0,16	0,190606	0,86	0,26	0,06	99,9522
						Q_{in} crítico	25,2116

Reservorio

Para el análisis del reservorio se ha considerado sus dimensiones de 70,00 x 40,00 x 2,40 m y un $Q_{in} = 0,0252$ m³/s los cuales nos permitirán calcular el volumen y tiempo de llenado para diferentes alturas, además se realizará un diagnóstico del desagüe del reservorio para verificar si trabaja en óptimas condiciones.

Figura 34*Reservorio I Pailones*

Para el cálculo del volumen se consideró un borde libre de 30 cm, a continuación, se presentan los resultados del volumen con una altura de 2,10m.

$$Volumen = \frac{h}{3} * (A_{BM} + A_{Bm} + \sqrt{A_{BM} * A_{Bm}}) \quad (9)$$

Dónde:

A_{BM} : Área de la base mayor

A_{Bm} : Área de la base menor

Tabla 32*Cálculo del volumen del reservorio.*

Base Menor	Largo(m)	65,00
	Ancho (m)	35,00
	Área Bm (m2)	2275,00
Base Mayor	Largo(m)	65,63
	Ancho (m)	35,63
	Área BM (m2)	2337,89
Total	Altura (m)	2,10
	Volumen (m3)	4843,39
Qin (m3/s)	0,0252	
Volumen (m3)	4843,39	
Tiempo Llenado (h)	31,72	

En la presente tabla se puede observar los volúmenes del reservorio a distintas alturas:

Tabla 33*Cálculo de volumen en distintas alturas.*

	I TRAMO	II TRAMO	III TRAMO
Base Mayor	Largo(m)	66,4583	67,9167
	Ancho (m)	36,4583	37,9167
	Área BM (m2)	2422,956639	2575,177139
	Altura (m)	0,7	1,4
VOLUMEN (m3)	1644,012939	3392,954491	5249,668892

De acuerdo con la información proporcionada por un trabajador encargado del mantenimiento del sistema de riego del IASA, se pudo conocer que el reservorio puede contener un volumen mínimo de 700 m³ aproximadamente, el cual es considerado como volumen crítico, por tal razón es necesarios obtener la altura del agua de dicho volumen que nos permitirá obtener el caudal de diseño para continuar con el diagnóstico hidráulico.

Tabla 34

Cálculo de altura con un volumen mínimo.

VOLUMEN (m ³)	ALTURA (m)
4843,39	2,10
700	0,30

Caudal de salida del reservorio

Para la obtención del caudal de salida, se debe considerar el incremento de agua en el reservorio, debido a que, si existe mayor creciente habrá mayor descarga por la compuerta, incrementado de igual forma la velocidad.

Para el cálculo de las velocidades en dichas descargas se utiliza la siguiente expresión:

$$V = C_v * \sqrt{2g * h} \quad (10)$$

Dónde

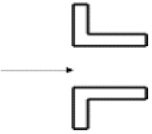
V: Velocidad (m/s)

g: Gravedad (m/s²)

h: Altura

C_v: coeficiente de velocidad

Tabla 35*Coefficientes de velocidad.*

FIGURA	Cv
	0,82

Nota. Recuperada de (Ing. Washington Sandoval PhD., 2013)

En la siguiente tabla se presentan los caudales de salida, a diferentes alturas de almacenamiento de agua en el reservorio, tomando como dimensiones de abertura en la compuerta de 0,01 X 1,15 m.

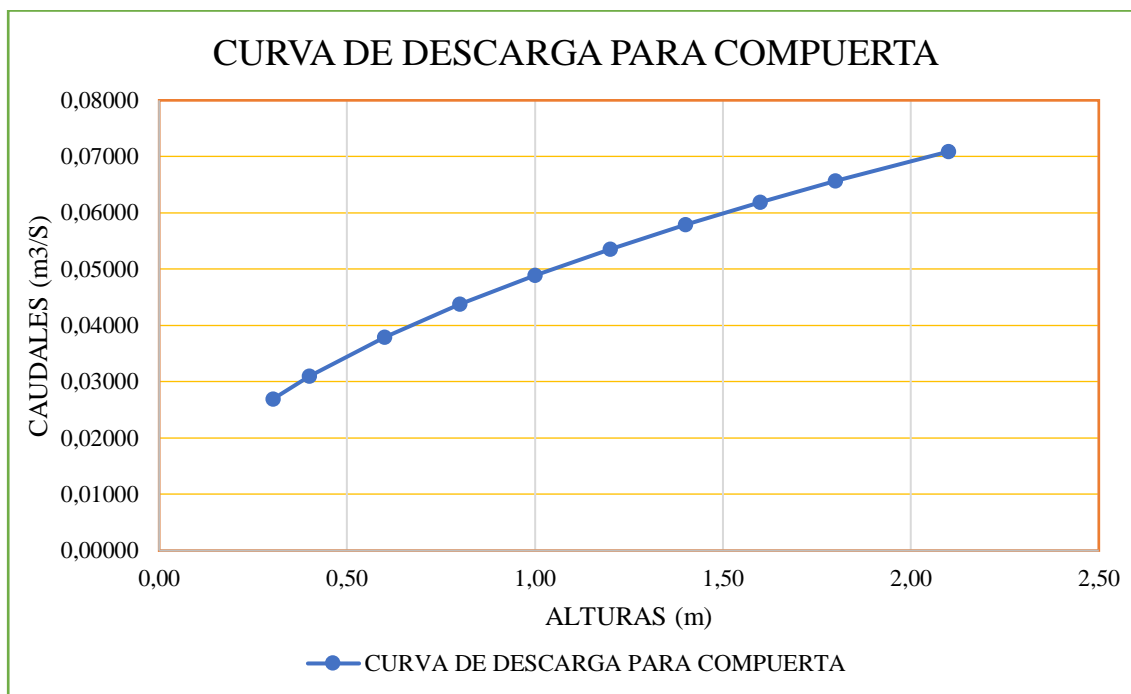
Tabla 36*Caudales de salida del reservorio.*

ALTURAS	VELOCIDAD (m/s)	ÁREA DE COMPUERTA (m ²)	CAUDAL (m ³ /s)
2,10	6,165	0,0115	0,07089
1,80	5,707	0,0115	0,06564
1,60	5,381	0,0115	0,06188
1,40	5,033	0,0115	0,05789
1,20	4,660	0,0115	0,05359
1,00	4,254	0,0115	0,04892
0,80	3,805	0,0115	0,04376
0,60	3,295	0,0115	0,03789
0,40	2,691	0,0115	0,03094
0,30	2,344	0,0115	0,02695
Qout crítico			0,02695

En la siguiente figura se muestra la curva de descarga para compuerta:

Figura 35

Curva de descarga del reservorio.



Caudal de descarga por desagüe

Actualmente el reservorio cuenta con un desagüe de PVC de 100 mm de diámetro que sirve para evacuar el exceso de agua de este hacia el cauce natural, ubicado a un extremo, a una altura de 2,10 m.

A continuación, se presenta el análisis del funcionamiento de dicho desagüe a través de los cálculos hidráulicos para conductos circulares de sección parcialmente llena, para verificar si cumple con una correcta descarga, tomando en cuenta que el caudal que se va a evacuar es la diferencia entre el caudal cuando el reservorio se encuentra a su mayor capacidad y el caudal de entrada al mismo:

Tabla 37*Análisis del desagüe del reservorio.*

CAUDAL DE DESCARGA NECESARIO	Q_{nec}	0,046	m ³ /s
DIÁMETRO	D	110,000	mm
TIRANTE DE AGUA	d	55,000	mm
PENDIENTE	S_o	0,004	m/m
COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	n	0,009	
ÁNGULO CENTRAL	Θ	3,142	°
PERÍMETRO HIDRAÚLICO	P	0,003	m
ÁREA HIDRAÚLICA	A	0,005	m ²
RADIO HIDRAÚLICO	R	1,576	m
CAUDAL DE FLUJO	Q	0,045	m ³ /s
OBSERVACIÓN	REDISEÑAR		

Habiendo revisado los resultados del análisis, se llega a la conclusión que el tubo de desagüe no cumple con la funcionalidad adecuada, por lo que se considera un rediseño, el cual consta colocar la tubería a una pendiente más pronunciada siendo esta del 4%, la tubería que sirve de desagüe no posee una pendiente apropiada para una correcta evacuación.

Tabla 38*Rediseño del desagüe del reservorio.*

CAUDAL DE DESCARGA NECESARIO	Q_{nec}	0,046	m³/s
DIÁMETRO	D	110,000	mm
TIRANTE DE AGUA	d	55,000	mm
PENDIENTE	S_o	0,020	m/m
COEFICIENTE DE RUGOSIDAD	n	0,009	
ÁNGULO CENTRAL	Θ	3,142	°
PERÍMETRO HIDRAÚLICO	P	0,003	m
ÁREA HIDRAÚLICA	A	0,005	m ²
RADIO HIDRAÚLICO	R	1,576	m
CAUDAL DE FLUJO	Q	0,101	m ³ /s
OBSERVACIÓN	OK		

Análisis de la conducción principal

La conducción existente en el IASA, parte desde el reservorio que se encuentra a una altura de 2989 msnm, a través de una tubería PVC de 160 mm de diámetro, con un caudal de 0,02161 m³/s hasta el primer punto de distribución, que es una caseta de filtrado, ubicada a una altura de 2942 msnm, donde la presión de llegada del agua es de 50 psi. En este primer tramo de conducción existen una válvula de compuerta y dos válvulas de control de aire que sirven para liberar aire durante el llenado y permitir la entrada de aire durante el vaciado de la tubería.

Conducción Caseta de Filtrado – División de Ramales

Como se presenta en el perfil longitudinal del terreno, se puede observar que existen dos tramos de conducción de diferentes diámetros, para ello se realizan diferentes análisis de acuerdo con los parámetros que posee cada uno de ellos.

Tubería PVC $\theta = 160$ mm

Parámetros	Valores	
Diámetro	160mm	mm
Longitud	26 m	m
Altitud	2942	msnm
Caudal	0,02695	m ³ /s

Tubería PVC $\theta = 110$ mm

Parámetros	Valores	
Diámetro	110mm	mm
Longitud	59 m	m
Altitud	2942	msnm
Caudal	0,02695	m ³ /s

En cuanto al diseño hidráulico el sistema cuenta con movimiento de agua a través de las tuberías y de las diferentes estructuras, para ello a continuación se detallan algunos conceptos básicos en la hidráulica.

Caudal de flujo

Tiene como definición el área de la sección del flujo multiplicado por el volumen del flujo, por lo tanto, es la cantidad del fluido que circula a través de una sección de tubería por unidad de tiempo.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 = A_3 * V_3$$

$$Q_n = A_n * V_n \quad (11)$$

Dónde:

Q: Caudal del tramo (m³/s)

A: Área de la sección (m²)

V: Velocidad de flujo (m/s)

En el caso del diseño hidráulico de tuberías el caudal se calculará con la siguiente fórmula:

$$Q = A * V = \frac{\pi * D^2}{4} * V \quad (12)$$

Dónde:

D: Diámetro de la tubería (m)

Flujos hídricos en las tuberías

Se producen por fuerzas internas de fricción, que actúan tangencialmente a las velocidades que se presentan entre dos partículas en movimiento.

Se debe analizar el fluido, para así determinar su movimiento a través del número de Reynolds, el cual analiza el movimiento de las partículas del fluido, según su densidad, velocidad, viscosidad y el diámetro de la tubería.

La siguiente expresión define el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (13)$$

Dónde:

Re: Número de Reynolds (m³/s)

V: Velocidad de flujo (m/s)

D: Diámetro de la tubería (m)

ν : Viscosidad (m²/s)

Tabla 39

Tabla de viscosidad del agua.

Temperatura °C	Viscosidad Cinemática $\nu \cdot 10^{-6}$
15	1,14

Nota. Recuperada de (Giles, 1969)

El número de Reynolds es adimensional, por tal razón, dependiendo de su valor se clasifica en estado de flujo laminar o flujo turbulento.

Tabla 40

Tabla de número de Reynolds.

REYNOLDS	
RE ≤ 2000	LAMINAR
2000 ≤ RE ≤ 4000	TRANSICIÓN
RE ≥ 4000	TURBULENTO

Nota. Recuperada de (Ing. Washington Sandoval PhD., 2013).

Pérdidas

Pérdidas por Longitud (Primarias)

Las pérdidas de carga por fricción a lo largo de una tubería, tanto para el régimen laminar como para el turbulento, se determinan con la ecuación de Darcy-Weisbach.

Tabla 41

Tabla de número de Reynolds.

Coeficiente de pérdidas			
Régimen Laminar		$\lambda = 64/Re$	
Régimen Turbulento	$Re < Re^* = 10D/k$	LEY DE PARED LISA	$\lambda = 0,316/Re^{0,25}$
	$Re > Re^{**} = 500D/k$	LEY DE PARED RUGOSA	$\lambda = 0,11(k/D)^{0,25}$
	$Re^* < Re < Re^{**}$	LEY DE PARED TRANSICIÓN	$\lambda = 0,11 \left(\frac{64}{Re} + \frac{k}{D} \right)^{0,25}$

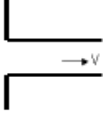
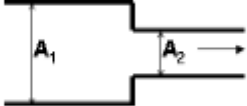

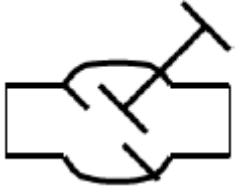
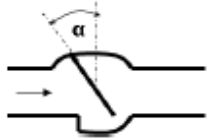
Nota. Recuperada de (Ing. Washington Sandoval PhD., 2013).

Pérdidas locales o de forma

Las pérdidas locales, o resistencia de forma, son las que se producen en singularidades tales como: Entradas y salidas de conductos, cambios de sección, contracciones, expansiones, codos, té, diafragmas, válvulas y todo tipo de accesorios y obstrucciones localizadas en el interior de conductos (Ing. Washington Sandoval PhD., 2013).

Tabla 42

Coeficiente de pérdidas locales.

ESPECIFICACIONES	ζ	ESQUEMA
A tope	0,5	
Reducción brusca, se determina con respecto a V_2	$A_2/A_1 = 0,05$ $\zeta = 0.024$	
Giro brusco	α° 45 90 ζ 0,32 1,19	
TRES (DIVISIÓN DE FLUJOS) Las flechas indican los sentidos del flujo	0,5	
Válvula de tapón diagonal	1,20	
Válvula de retención (check)	$\alpha^\circ = 60$ $\zeta = 1,55$	

Nota. Recuperada de (Ing. Washington Sandoval PhD., 2013).

Pérdidas Total

Las pérdidas totales es la suma de las pérdidas de longitud más las pérdidas locales o de forma.

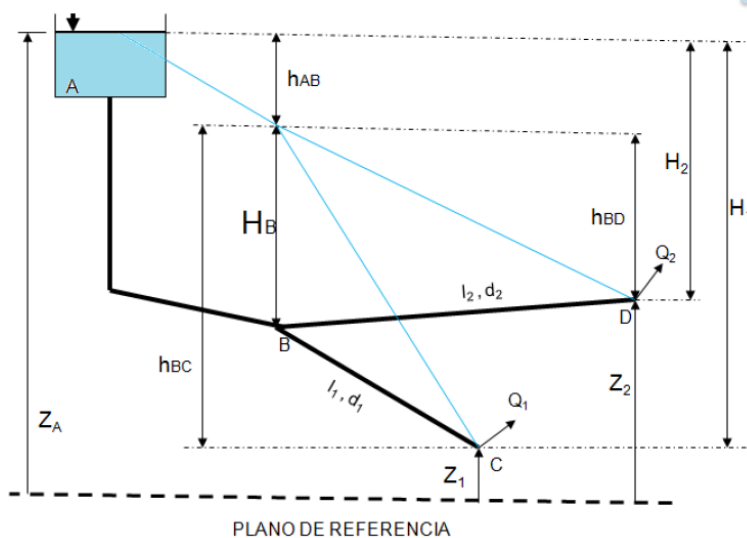
$$\Sigma hr = \lambda_1 \frac{l_1 V_1^2}{D_1 \cdot 2g} + \lambda_2 \frac{l_2 V_2^2}{D_2 \cdot 2g} + \zeta_{ent} \frac{V_1^2}{2g} + \zeta_{red} \frac{V_2^2}{2g} + \zeta_{raf} \frac{V_2^2}{2g} \quad (14)$$

Caudal para redes abiertas

Para determinar los caudales del conducto principal de los ramales, es necesario conocer las alturas, longitudes y diámetros de todas las tuberías que conforman la red a analizar.

Figura 36

Esquema de red abierta.



Nota. Recuperada de (Ing. Washington Sandoval PhD., 2013).

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (15)$$

$$Q_2 = \frac{K_2}{\sqrt{l_2}} \cdot \sqrt{(H_2 - H_1 + l_1 \cdot Q_1^2/K_1^2)} \quad (16)$$

$$Q = Q_1 + \frac{K_2}{\sqrt{l_2}} \cdot \sqrt{(H_2 - H_1 + l_1 \cdot Q_1^2/K_1^2)} \quad (17)$$

Tabla 43

Coefficiente de pérdidas.

TIPO DE TUBERÍA	k (mm)
PVC y mangueras plásticas	0,06 a 0,07

Nota. Recuperada de (Ing. Washington Sandoval PhD., 2013).

Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli suele escribirse de la siguiente manera (Noguera, 2020):

$$Z_0 + \frac{P_0}{\gamma} + \frac{\alpha V_0^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + \Sigma hr \quad (18)$$

Dónde:

Z₀: Altura (msnm)

P₀: Presión inicial (Kg/m²)

γ: Peso específico de agua = (kg/m³)

V₀² : Velocidad (m/s)

Σhr: Pérdidas totales

Por tal motivo se necesita de la expresión anterior, para determinar las presiones de los diferentes tramos de conducción que está compuesta la red principal.

A continuación, se presenta los resultados del análisis del sistema de conducción principal:

Tramo I (Caseta de filtrado – Punto de red abierta)

Tabla 44

Análisis Tramo I (Caseta de filtrado – Punto de red abierta).

PARÁMETROS	TRAMO I	TRAMO II
LONGITUD (m)	26	59
CAUDAL (m3/s)	0,02695	0,02695
DIÁMETRO (mm)	160	110
ÁREA (m2)	0,0201	0,0095
VELOCIDAD m/s	1,34	2,84
REYNOLDS	188136,268	273652,753
TIPO DE FLUJO	TURBULENTO	TURBULENTO
Re1*	26666,67	18333,33
Re1**	1333333,33	916666,67
ZONA DE FLUJO	ZONA DE TRANSICIÓN	ZONA DE TRANSICIÓN
OBSERVACIÓN	OK	OK

Tabla 45

Pérdidas por longitud Tramo I.

PÉRDIDAS POR LONGITUD		
	$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k}{D} \right)^{0,25}$	$hr = \lambda_1 \frac{l \cdot V^2}{D \cdot 2g}$
TRAMO I	0,018647077	0,269678422
	$\lambda = 0,11 \left(\frac{k}{D} \right)^{0,25}$	$hr = \lambda_1 \frac{l \cdot V^2}{D \cdot 2g}$
TRAMO II	0,016810566	3,696295013

Tabla 46*Pérdidas locales Tramo I.*

PÉRDIDAS LOCALES		
ζ_{ent}	0,5	
$\zeta_{red} (A2/A1)$	0,24	$(A2/A1) = 0,5$
ζ_{dvf}	0,5	

Tabla 47*Pérdidas totales Tramo I.*

PÉRDIDAS TOTALES (Σhr)	4,3151
--	---------------

Caudales en cada ramal

Al dividirse el tramo de conducción se procede a calcular los caudales de cada uno de ellos, con la ecuación de caudales para redes abiertas, con ayuda de este dato, posteriormente se pasa a realizar el análisis de los siguientes dos tramos de conducción.

Tabla 48*Caudales de entrada para cada ramal Tramo I.*

RAMAL I (ACUICULTURA)		RAMAL II	
K1	0,06	K2	0,06
H1 (m)	26	H2 (m)	17
L1 (m)	837,142	L2 (m)	537,984
Q1(m3/s)	0,01288	Q2 (m3/s)	0,014071

Tramo III (División de ramales Acuicultura)

Tabla 49

Análisis Tramo III (Ramal I - Acuicultura).

PARÁMETROS	RAMAL I -ACUICULTURA
LONGITUD (m)	837,142
CAUDAL (m3/s)	0,01288
DIÁMETRO (mm)	63
ÁREA (m2)	0,0031
VELOCIDAD m/s	4,13
REYNOLDS	228351,665
TIPO DE FLUJO	TURBULENTO
Re1*	10500,00
Re1**	525000,00
ZONA DE FLUJO	ZONA DE TRANSICIÓN
OBSERVACIÓN	REDISEÑO

Tabla 50

Pérdidas por longitud Tramo III.

PÉRDIDAS POR LONGITUD		
	$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k}{D} \right)^{0,25}$	$hr = \lambda_1 \frac{l \cdot V^2}{D \cdot 2g}$
TRAMO III	0,020213183	239,18

Tabla 51

Pérdidas locales Tramo III.

PÉRDIDAS LOCALES	
$\zeta_{ent (val)}$	1,55
Zcod 45°	0,32
Zcod 90°	1,19

Tabla 52*Pérdidas totales Tramo III.*

PÉRDIDAS TOTALES (Σhr)	242,7385
--	----------

Tabla 53*Presiones Tramo III.*

PUNTO 1 (ENTRADA)		PUNTO 2 (SALIDA)	
V1 (m/s)	1,34	V2 (m/s)	1,34
ρ (Kg/m ³)	1000	ρ (Kg/m ³)	1000
g (m/s ²)	9,81	g (m/s ²)	9,81
Zo (m)	2942	Z2 (m)	2920
P1 kg/m ²	35153,5	P2 kg/m ²	-189900,0904
OBSERVACIÓN		REDISEÑO	

Ante el análisis de cada uno de los parámetros de dicho tramo se puede observar que no cumple con las condiciones necesarias para un óptimo diseño, por lo que se debe rediseñar sus parámetros, para que el mismo cumpla una correcta funcionalidad.

Rediseño del tramo III

Para obtener un óptimo diseño, cumpliendo todas las condiciones necesarias, se ha propuesto cambiar el diámetro de la tubería como rediseño, siendo este de 110 mm, ya que las velocidades en las tuberías PVC deben estar dentro los rangos establecidos de 1 a 3,5 m/s.

Tabla 54*Rediseño Tramo III (Ramal I - Acuicultura).*

PARÁMETROS	RAMAL I -ACUICULTURA
LONGITUD (m)	837,142
CAUDAL (m3/s)	0,01288
DIÁMETRO (mm)	110
ÁREA (m2)	0,0095
VELOCIDAD m/s	1,36
REYNOLDS	130783,227
TIPO DE FLUJO	TURBULENTO
Re1*	18333,33
Re1**	916666,67
ZONA DE FLUJO	ZONA DE TRANSICIÓN
OBSERVACIÓN	OK

Tabla 55*Pérdidas por longitud Tramo III.*

PÉRDIDAS POR LONGITUD		
	$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k}{D} \right)^{0,25}$	$hr = \lambda_1 \frac{l \cdot V^2}{D \cdot 2g}$
TRAMO III	0,019873335	14,16

Tabla 56*Pérdidas locales Tramo III.*

PÉRDIDAS LOCALES	
ζ ent (val)	1,55
Zcod 45°	0,32
Zcod 90°	1,19

Tabla 57*Pérdidas totales Tramo III.*

PÉRDIDAS TOTALES (Σhr)	14,5439
--	----------------

Tabla 58*Presiones Tramo III.*

PUNTO 1 (ENTRADA)		PUNTO 2 (SALIDA)	
V1 (m/s)	1,34	V2 (m/s)	1,34
ρ (Kg/m ³)	1000	ρ (Kg/m ³)	1000
g (m/s ²)	9,81	g (m/s ²)	9,81
Zo (m)	2942	Z2 (m)	2920
P1 kg/m ²	35153,5	P2 kg/m ²	42609,5928
OBSERVACIÓN	OK		

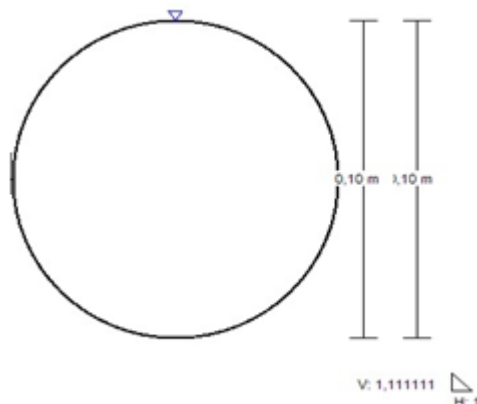
Para la comprobación del rediseño del tramo III se utilizó el software FlowMaster, donde se obtuvo que el diámetro propuesto es óptimo para el funcionamiento de la red principal de riego. En la siguiente figura se muestran los resultados del software:

Tabla 59*Análisis del software FlowMaster.*

Parámetros de Análisis		
Q máx	0,01	m ³ /s
V	1,39	m/s
Tipo de flujo	Subcrítico	
Observación	OK	

Figura 37

Análisis del software FlowMaster.

**Tramo IV Toma de Captación Canal Abierto**

A diferencia del análisis anterior, para el siguiente tramo se realiza un nuevo estudio, debido a que existe una nueva captación situada a 2875 msnm con coordenadas X= 787829,3 y Y=9953775,6, la cual a través de un canal abierto que capta agua de un cauce natural, hacia un tanque con dimensiones de 1,60m x 2,10m x 1,50m, donde parte una tubería PVC de 110 mm de diámetro hasta llegar a unirse en un bypass en ganadería.

Para ello se calcula un nuevo caudal de entrada hacia la conducción, a través de la siguiente expresión, considerando diferentes alturas de llenado.

$$V = C_v * \sqrt{2g * h} \quad (19)$$

Dónde

V: Velocidad (m/s)

g: Gravedad (m/s²)

h: Altura (m)

Cv: Coeficiente de velocidad = 0,62 (orificio pequeño)

DATOS TUBERÍA		
DIÁMETRO (mm)	110,00	
CV	0,62	ORIFICIOS PEQUEÑOS

Tabla 60

Caudal de entrada Tramo IV.

ALTURAS	VELOCIDAD (m/s)	ÁREA DE TUBERÍA (m ²)	CAUDAL (m ³ /s)
1,00	2,746	0,00950	0,02610
0,50	1,942	0,00950	0,01845
		Qout crítico	0,01845

Tabla 61

Tramo IV (Captación – Bypass Ganadería).

PARÁMETROS	RAMAL I - ACUICULTURA
LONGITUD (m)	2947,4157
CAUDAL (m ³ /s)	0,01845
DIÁMETRO (mm)	110
ÁREA (m ²)	0,0095
VELOCIDAD m/s	1,94
REYNOLDS	187376,027
TIPO DE FLUJO	TURBULENTO
Re1*	18333,33
Re1**	916666,67
ZONA DE FLUJO	ZONA DE TRANSICIÓN
OBSERVACIÓN	OK

Tabla 62

Pérdidas por longitud Tramo IV.

PÉRDIDAS POR LONGITUD		
	$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k}{D} \right)^{0,25}$	$hr = \lambda_1 \frac{l \cdot V^2}{D \cdot 2g}$
TRAMO III	0,019096656	98,3466

Tabla 63*Pérdidas locales Tramo IV.*

PÉRDIDAS DE ENTRADA		
ζ check	0,5	11
ζ red	1,2	2,4
ζ cod 45°	0,32	3,2
ζ cod 90°	1,19	2,38

Tabla 64*Pérdidas totales Tramo IV.*

PÉRDIDAS TOTALES (Σhr)	101,9946
--	----------

Tabla 65*Presiones Tramo IV.*

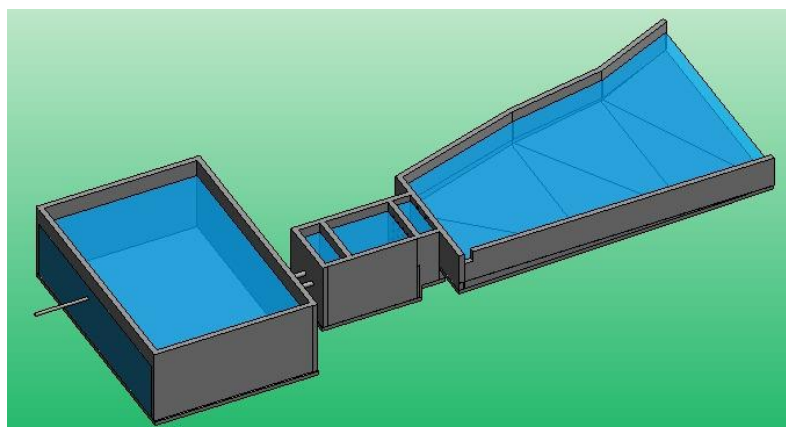
PUNTO 1 (ENTRADA)		PUNTO 2 (SALIDA)	
V1 (m/s)	1,94	V2 (m/s)	1,075
ρ (Kg/m3)	1000	ρ (Kg/m3)	1000
g (m/s2)	9,81	g (m/s2)	9,81
Zo (m)	2875	Z2 (m)	2755
P1 kg/m2	0,0	P2 kg/m2	18005,4293
		Presión	25,568 psi
OBSERVACIÓN		OK	

Tramo V (Toma de Captación Ganadería)

De igual forma al análisis anterior, se realiza un nuevo estudio, debido a que existe una obra de captación situada a 2782 msnm con coordenadas $X= 788201,4$ y $Y=9956387,9$, que capta agua de un afluente del río Pita, la misma que está compuesta por tres tanques de filtrado y un tanque de almacenamiento con dimensiones de 9,10m x 6,30m x 3,00m, la cual parte una tubería PVC de 110 mm de diámetro hasta llegar a un bypass en ganadería, donde se une con la tubería la captación antes analizada.

Figura 38

Esquema de red abierta.



Igualmente se calcula un nuevo caudal con el mismo procedimiento del análisis del tramo IV.

Tabla 66

Datos de tubería de salida de captación

DATOS TUBERÍA		
DIÁMETRO (mm)	100,00	
CV	0,62	ORIFICIOS PEQUEÑOS

Tabla 67*Caudal de entrada Tramo V.*

ALTURAS	VELOCIDAD (m/s)	ÁREA DE TUBERÍA (m ²)	CAUDAL (m ³ /s)
2,00	3,884	0,00785	0,03050
1,00	2,746	0,00785	0,02157
		Qout crítico	0,02157

Tabla 68*Tramo V (Captación – Bypass Ganadería).*

PARÁMETROS	RAMAL I -ACUICULTURA
LONGITUD (m)	130
CAUDAL (m ³ /s)	0,02157
DIÁMETRO (mm)	110
ÁREA (m ²)	0,0095
VELOCIDAD m/s	2,27
REYNOLDS	218999,768
TIPO DE FLUJO	TURBULENTO
Re1*	18333,33
Re1**	916666,67
ZONA DE FLUJO	ZONA DE TRANSICIÓN
OBSERVACIÓN	OK

Tabla 69*Pérdidas por longitud Tramo V.*

PÉRDIDAS POR LONGITUD		
	$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{k}{D} \right)^{0,25}$	$hr = \lambda_1 \frac{l \cdot V^2}{D \cdot 2g}$
TRAMO III	0,018815064	5,8381

Tabla 70*Pérdidas locales Tramo V.*

PÉRDIDAS DE ENTRADA		
Z ent check	0,5	1
$\zeta_{cod 45^\circ}$	0,32	0,32
$\zeta_{cod 90^\circ}$	1,19	3,57
ζ_{dvf}	2	2

Tabla 71*Pérdidas totales Tramo V.*

PÉRDIDAS TOTALES (Σhr)	7,647
--	--------------

Tabla 72*Presiones Tramo V.*

PUNTO 1 (ENTRADA)		PUNTO 2 (SALIDA)	
V1 (m/s)	2,27	V2 (m/s)	2,27
ρ (Kg/m ³)	1000	ρ (Kg/m ³)	1000
g (m/s ²)	9,81	g (m/s ²)	9,81
Zo (m)	2782	Z2 (m)	2755
P1 kg/m ²	0,0	P2 kg/m ²	19352,96197
		Presión	27,481 psi
OBSERVACIÓN		OK	

Esta red de distribución se divide en dos ramales, uno que aporta agua al sistema de agua potable y el otro que se dirige hacia ganadería uniéndose a un bypass, por lo tanto, se procede a calcular los caudales destinados a dichas distribuciones, a través de la expresión para red abierta.

Tabla 73*Caudal red abierta.*

AGUA POTABLE		CAP-BYPASS	
K1	0,06	K2	0,06
H1 (m)	2	H2 (m)	12
L1 (m)	16	L2 (m)	130,4028
Q1(m3/s)	0,004867	Q2 (m3/s)	0,016702

Una vez obtenido los caudales, se procede a calcular el caudal total, el cual se va a distribuir por los invernaderos de estudio y la presión con que llega a la caseta de filtrado, y posteriormente se comprobará la demanda hídrica de cada uno de ellos.

Tabla 74*Caudal total.*

Q1 (Captación 1)	0,018454	m3/s
Q2 (Captación 2)	0,016702	m3/s
Q TOTAL	0,035157	m3/s

Tabla 75*Presión total.*

P1 (C-PAILONES)	25,568	psi
P2 (C-GANADERÍA)	27,481	psi
PTOTAL	53,049	psi

Demanda hídrica por invernadero

El sistema del IASA cuenta con 6 invernaderos, en el cual 2 de ellos presentan la misma red principal de agua y la máxima demanda de agua se registra en los meses de julio, agosto y septiembre, y la menor demanda en los meses de marzo y abril, basándonos en esta información, el agua que se requiere para cubrir la demanda hídrica de dichos invernaderos se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 76

Demanda hídrica por invernadero de estudio.

INVERNADEROS	DEMANDA (l/s)
FRUTALES	0,01736
TALLER CAMPO DE RIEGO	0,5093
SILVICULTURA	0,694
FLORICULTURA	0,2315
HORTALIZAS	0,3472

Distribución de Caudales a los Invernaderos

Existen cinco ramales de distribución para los seis invernaderos existentes, por lo cual, se presentan en la siguiente tabla los datos de cada ramal y el caudal total que se va a repartir en cada uno de estos.

Tabla 77

Demanda hídrica por invernadero de estudio.

DATOS						
INVERNADEROS	Q(entrada)	0,035157	m3/s	K	0,000312	m3/s
FRUTALES	D1	75	mm	L1	20,00	m
TALLER CAMPO DE RIEGO	D2	75	mm	L2	20,00	m
AREAS VERDES	D3	75	mm	L3	255,95	m
SILVICULTURA	D4	75	mm	L4	4,48	m
FLORICULTURA	D5	75	mm	L5	132,45	m
HORTALIZAS	D6	75	mm	L6	355,08	m

A continuación, se muestra en la siguiente tabla los resultados del análisis hidráulico en el cual se consideró la condición de continuidad anteriormente descrita.

$$Q = Q_1 \left(1 + \frac{K_2}{K_1} \sqrt{\frac{l_1}{l_2}} + \frac{K_3}{K_1} \sqrt{\frac{l_1}{l_3}} + \dots + \frac{K_n}{K_1} \sqrt{\frac{l_1}{l_n}} \right) \quad (20)$$

Dónde:

Q: Caudal (m3/s)

K: Valor de factor de forma

L: Longitud de ramales (m)

Tabla 78

Valores del Factor de forma $K=F/n$ (según la ecuación de Manning).

DIÁMETRO (mm)	F.10⁻³ (m3/s)
75	0,312

Nota. Recuperada de (Ing. Washington Sandoval PhD., 2013).

En el ANEXO A-II se presenta la red de distribución hacia los invernaderos

Tabla 79

Demanda hídrica por invernadero de estudio.

INVERNADEROS		CAUDAL DE DISEÑO		DEMANDA	
FRUTALES	Q1	0,00700	m3/s	0,00001736	SI ABASTECE
TALLER CAMPO DE RIEGO	Q2	0,00700	m3/s	0,0005093	SI ABASTECE
ÁREAS VERDES	Q3	0,00196	m3/s		SI ABASTECE
SILVICULTURA	Q4	0,01480	m3/s	0,000694	SI ABASTECE
FLORICULTURA	Q5	0,00272	m3/s	0,0002315	SI ABASTECE
HORTALIZAS	Q6	0,00166	m3/s	0,0003472	SI ABASTECE

Finalmente, se puede apreciar que el caudal de distribución si abastece la demanda hídrica de cada invernadero, pero se recomienda el aumento de diámetro de las tuberías, con el objetivo de que la velocidad cumpla con los rangos establecidos de 1 a 3,5 m/s, tuberías PVC. El plano del rediseño del sistema de la red principal de riego se puede apreciar en el ANEXO A-III.

Resultados del análisis del sistema de drenaje agrícola

En la actualidad la Hacienda el Pardo cuenta con cinco invernaderos de estructuras metálicas, los cuales están destinados a los cultivos de hortalizas, rosas entre otros. Ciertos invernaderos poseen un drenaje en mal estado, mientras que otros no cuentan con este sistema, provocando así una deficiencia en la evacuación del exceso de agua, ya que estos solamente dependen de la pendiente del terreno para asegurar la eliminación de agua acumulada en la superficie.

Por tal motivo se planea diseñar un sistema de drenaje agrícola para cada uno de los invernaderos existentes, con el propósito de asegurar una humedad apropiada en los diferentes cultivos, permitiendo mejores rendimientos y un mayor desarrollo en su producción.

Diseño del drenaje agrícola

En primer lugar, es necesario diferenciar dos aspectos del diseño: el primero es el cálculo de la red colectora principal y el segundo se refiere a la determinación de la capacidad de las tierras para permitir el flujo del exceso de agua hacia esos colectores. El primer aspecto, o sea el diseño de la red colectora, ha sido hasta ahora la más estudiada y en la actualidad existen métodos suficientemente aceptables para realizar el diseño. El segundo aspecto es más complicado pues depende del micro relieve del terreno y hasta el momento no existe un método suficientemente probado para permitir un diseño racional. En la actualidad este último aspecto se resuelve mediante una modificación de la topografía del terreno a fin de proporcionar pendientes que permitan una rápida evacuación de las aguas (Luthin, 1979).

Parámetros para el diseño de la red colectora

Para el diseño de drenaje únicamente se debe tomar en cuenta el acumulo de agua superficial, sin considerar el flujo subsuperficial y subterráneo, debido a que el tiempo de propagación es muy largo y por consiguiente no afecta en el dimensionamiento del sistema.

Cálculo del Coeficiente de Drenaje o Ecuación de Diseño.

El coeficiente de drenaje se lo caracteriza como el aumento de agua, el cual puede ser evacuado por unidad de tiempo, este coeficiente es considerado como 24 horas.

El coeficiente C, se obtiene de una ecuación propuesta por (Stephen & Mills, 1965) se lo expresa de la siguiente manera:

$$Cd = 4,573 + 1,63 \frac{24E}{td} \quad (21)$$

Dónde:

Cd: coeficiente de drenaje, (l/s/ha)

E: Escorrentía de diseño, (cm)

td: tiempo de drenaje, (hr)

Esta fórmula presenta la conveniencia de incorporar el efecto del aumento del área a drenar en el valor final del caudal de diseño.

Tiempo De Drenaje

El tiempo de drenaje se estima como el tiempo en horas que el cultivo puede durar en condiciones de inundación, sin afectar en su rendimiento.

El tiempo de drenaje se debe obtener de locales, en Ecuador al no contar con este tipo de herramientas se adopta los valores recomendados de la siguiente tabla (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2018):

Tabla 80

Tiempo de duración.

Hortalizas y cultivos dedicados	6 – 8 horas
Cultivos anuales	12 – 24 horas
Pastos	48 – 72 horas

Nota: Recuperada de (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2018).

Fuente

De acuerdo con las zonas agrícolas existentes en el IASA, se estima un tiempo de drenaje de 24 horas, ya que el coeficiente de drenaje generalmente se considera como 24 hora en base a los valores recomendados de la tabla 17 del Manual Técnico para el Diseño de Sistema de Drenaje en suelos Agrícolas del Ecuador (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2018).

Escorrentía

La escorrentía representa el exceso de agua que drena o escurre sobre la superficie del terreno, la cual puede ser determinada según el comportamiento de la precipitación, la variación de la evaporación y la infiltración.

Dos de los métodos más sencillos para determinar la escorrentía total son:

- a) El balance hídrico diario.
- b) El método del Soil Conservation Service.

En ambos métodos se requiere el conocimiento de:

- Lluvia de diseño (Pd)
- Capacidad de infiltración de los suelos (I).

Para estimar la escorrentía se utilizará el método del “Número de curva” propuesto por Soil Conservation Service (Soil Conservation Service, 1972).

Se tiene como información de la zona de estudio, que posee una cobertura mayor al 75%, siendo esta una buena condición hidrológica.

De modo que, se analiza las áreas del cual se va a implementar el sistema de drenaje del cual se deduce que el grupo de suelos hidrológicos perteneciente al IASA, es grupo B (Moderadamente bajo potencial de escorrentía) según la tabla del (Natural Resources Conservation Service, 2004).

A partir de la tabla 18 del Manual Técnico para el Diseño de Sistema de Drenaje en suelos Agrícolas del Ecuador (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2018), uso, tratamiento y condición hidrológica del suelo podemos identificar el método de Curvas Número (CN), obteniendo el valor de CN= 69, debido a que se trata de sembríos cerrados, cuyo tratamiento o práctica se basa en las curvas de nivel, en condiciones hidrológicas buenas.

A continuación, se halla el valor del potencial máximo de retención de humedad mediante la siguiente ecuación:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (22)$$

$$S = \frac{25400}{69} - 254$$

$$S = 114,12 \text{ mm}$$

Precipitación

La precipitación es la principal fuente de exceso de agua; las inundaciones son consecuencia de la precipitación y las limitaciones topográficas y edáficas contribuyen a agravar la acción de las causas anteriores (Rojas, 1984).

Para el cálculo de esta obtendremos la intensidad diaria para un periodo de retorno *dado en mm/h, a partir de las intensidades históricas del IASA.*

Tabla 81

Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h (Idtr).

TR (años)	Duración de la lluvia, en minutos							
	5	20	40	60	80	100	120	1440
5	39,990	19,995	14,139	11,544	9,998	8,942	8,163	2,356

En base en la anterior tabla, la intensidad de lluvia para un periodo de retorno de cinco años es de 2,356 mm/h, el cual se ocupa para obtener la precipitación en 24 horas, como se indica a continuación:

Tabla 82

Lluvia de diseño.

t (min)	Intensidad (mm/hr)	Precipitación (mm)	Δ Precipitación	Hietograma
1440	2,356	56,555	28,277	28,277

La lluvia máxima en 24 horas es de 56,56 mm.

Para calcular la escorrentía se utiliza la siguiente expresión:

$$E = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (23)$$

$$E = \frac{(56,56 - 0,2 * (114,12))^2}{56,56 + 0,8 * (114,12)}$$

$$E = 7,698 \text{ cm}$$

Por lo tanto, obtenemos a continuación el coeficiente de drenaje, el cual nos permitirá calcular posteriormente el caudal de diseño.

$$Cd = 4,573 + 1,63 \frac{24E}{td} \quad (24)$$

$$Cd = 4,573 + 1,63 \frac{24(7,698)}{24}$$

$$Cd = 17,121 \text{ l/s/ha}$$

Cálculo de caudal de diseño

El caudal de diseño se calcula mediante la Ecuación del Cypress Creek (Mc Crory, 1965):

$$Q = C.A^{5/6} \quad (25)$$

Dónde:

Q: Caudal de diseño (l/s)

C: Coeficiente de drenaje (l/s/ha)

A: Área a drenar (ha)

A continuación, se obtienen los caudales de los seis invernaderos existentes en el IASA.

Tabla 83

Caudal de diseño (lt/s).

	Invernadero	Largo	Ancho	Área (Ha)	Caudal De Diseño (L/s)	Caudal De Diseño (m3/s)
1	Floricultura	65,10	43,10	0,281	5,937	0,00594
2	Silvicultura	20,42	15,95	0,033	0,987	0,00099
3	Frutales	33,10	50,91	0,168	3,881	0,00388
4	Taller campo de Riego	32,76	21,49	0,070	1,876	0,00188
5	Hortalizas I	63,81	34,90	0,223	4,897	0,00490
6	Hortalizas II	59,95	23,75	0,142	3,373	0,00337
				0,917	20,952	

Trazado de la Red de Drenaje

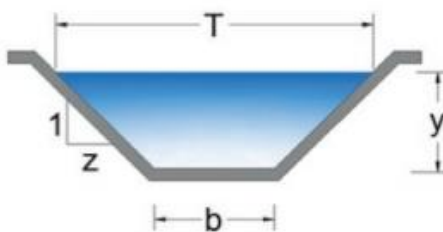
Según (Rojas. M. R 1980) Consiste en la elaboración de un plano con la ubicación de cada uno de los drenes primarios. Para el trazado de estos canales se tomarán en cuenta las siguientes especificaciones. En el ANEXO B-I se encuentra detallado el trazado de la red de drenaje agrícola.

Dimensionamiento

Sección Típica

Figura 39

Esquema del canal.



Nota. Recuperada de (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2018)

Dónde:

b: Base (m)

y: Tirante hidráulico (m)

z: Talud de la pared (adim)

T: Ancho superior de la zanja (m)

Cálculo de la velocidad

Se considera que en los drenes se tendrá un flujo turbulento totalmente desarrollado y es posible aplicar la ecuación de Manning para la definición de los

parámetros del movimiento uniforme (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2018). La velocidad media del flujo corresponde a la siguiente expresión:

$$V = \frac{R^{2/3} * I_0^{1/2}}{n} \quad (26)$$

Dónde:

V: Velocidad (m/s)

I: Pendiente longitudinal del dren (m/m)

A: Área hidráulica

P: Perímetro mojado

R: Radio hidráulico igual al cociente entre el área hidráulica y el perímetro mojado $R_h = A/P$, (m)

n: Coeficiente de Manning

Coeficiente de rugosidad de Manning

Se considera un coeficiente de Manning de 0,022, en función de las condiciones actuales de cada uno de los invernaderos, ya que este se mantendrá limpio, los cual posee tierra, con hierba corta y pocas malezas de calidad buena, como se indica en la tabla 20 del Manual Técnico para el Diseño de Sistema de Drenaje en suelos Agrícolas del Ecuador (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2018):

Área de canal (m²)

$$A = b * y + Z * y^2 \quad (27)$$

Dónde:

A: Área (m²)

b: base (m)

y: Tirante (m)

Z: Talud

Perímetro mojado (m)

Es la longitud del perímetro de la sección transversal que está realmente en contacto con el agua, sin incluir la anchura de la superficie del agua B.

$$P = b + 2 * y * (1 + Z^2)^{1/2} \quad (28)$$

Dónde

P: Perímetro (m)

b: base (m)

y: Tirante (m)

Z: Talud

Radio Hidráulico (m)

Es el coeficiente entre el área de la sección transversal mojada A y el perímetro mojado P. Se utiliza muchas veces para definir la forma del canal.

$$Rh = A/P \quad (29)$$

Pendiente (adim)

En el diseño se definirán las pendientes longitudinales que se requieran para garantizar la capacidad hidráulica en todo su recorrido, cumpliendo al mismo tiempo con los valores de velocidades máximas y mínimas. Siempre que sea posible se procurará ubicar los drenes con pendientes similares a las de terreno natural para minimizar las alturas de corte (Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador, 2018).

De acuerdo con la topografía de terreno surge una pendiente topográfica muy suave, por lo que se asume una pendiente de 0,02% (20 cm por cada 100 metros), y una diferencia de nivel de 2 m.

Profundidad total (H)

La profundidad total del dren se determinó una vez conociendo el tirante y el borde libre a través de la ecuación **Fuente especificada no válida.**

$$H = y + B.L. \quad (30)$$

Dónde:

H: Altura (m)

BL: Borde libre (m)

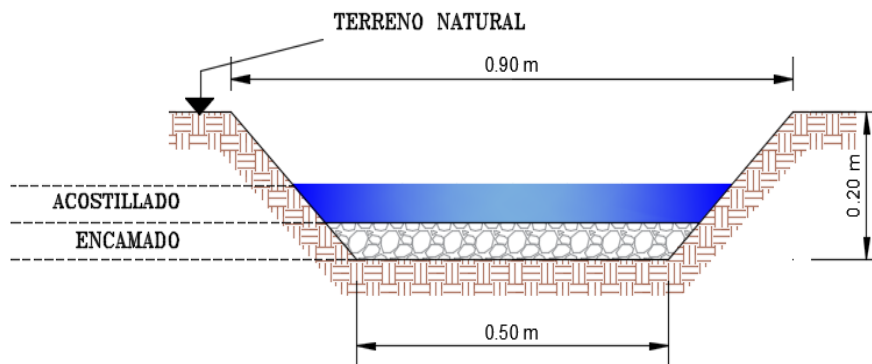
y: Tirante (m)

Dimensionamiento definitivo

Con base a los parámetros anteriores, se determinó el dimensionamiento de los drenes de cada uno de los invernaderos y con ayuda de iteraciones se obtuvo las secciones deseadas, cumpliendo con las condiciones de diseño.

Figura 40

Sección Tipo.



En la siguiente tabla se presenta los cálculos hidráulicos de cada uno de los drenes:

Tabla 84*Cálculos hidráulicos.*

Caudal de Diseño (m ³ /s)	Talud (Z)	N	S (m/m)	Ancho Base (m)	Tirante (m)	Altura (m)	Ancho superior de la Zanja (m)	Área (m ²)	Perímetro mojado (m)	Radio Hidráulico (m)	Velocidad (m/s)	
	Z											b
1	0,00594	1	0,027	0,002	0,5	0,052	0,202	0,904	0,0289	0,64708	0,04436	0,20756
2	0,00099	1	0,027	0,002	0,5	0,021	0,171	0,842	0,0109	0,55940	0,01956	0,12024
3	0,00388	1	0,027	0,002	0,5	0,043	0,193	0,886	0,0234	0,62162	0,03756	0,18577
4	0,00188	1	0,027	0,002	0,5	0,030	0,180	0,860	0,0159	0,58485	0,02719	0,14976
5	0,00490	1	0,027	0,002	0,5	0,047	0,197	0,894	0,0257	0,63294	0,04062	0,19572
6	0,00337	1	0,027	0,002	0,5	0,037	0,187	0,874	0,0199	0,60465	0,03286	0,16993
						MAX	0,202	0,904				

A continuación, se presenta la comprobación del diseño de la zanja superficial, en el software FlowMaster, donde se obtuvo que el dimensionamiento propuesto es óptimo para el funcionamiento del drenaje agrícola superficial.

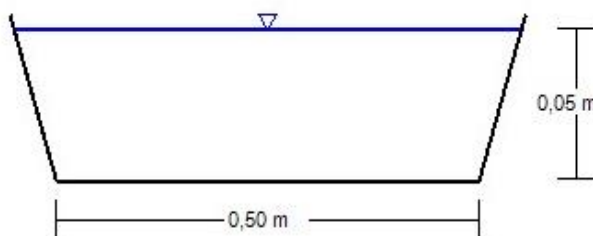
Tabla 85

Análisis del software FlowMaster.

Parámetros de Análisis	
Q máx	0,02 m ³ /s
V	0,79 m/s
Tipo de flujo	Supercrítico
Observación	OK

Figura 41

Análisis del software FlowMaster.



Resultados del análisis del sistema de drenaje vial

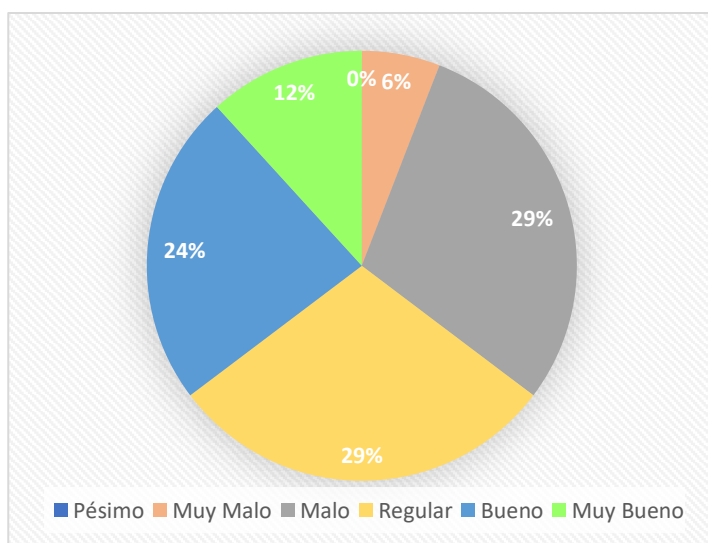
La vía presente en la hacienda el Prado posee una longitud de aproximadamente de 5,448 km de extensión, la cual está dividida en tres tramos, el primero tramo se evidencia completamente adoquinado con cunetas en perfectas condiciones, dicho tramo de 808 m, empieza desde la entrada principal de la institución hasta el bar, el segundo tramo de 1,0 km se encuentra parcialmente pavimentada, con presencia de baches en su capa de rodadura, la cual cuenta con cunetas en malas condiciones, va desde el sector del bar hasta ganadería y el último tramo de la vía con

3,460 km desde el sector de ganadería hasta Pailones, se presenta un empedrado parcial, sin la presencia de cunetas laterales.

En función a la información antes analizada se pudo comprobar la valoración de la funcionalidad que brinda el sistema en la institución, la cual se puede observar en la siguiente imagen, constatando que se encuentra en un mal estado, produciendo la falta de evacuación del exceso de agua, provocando un acúmulo de esta, dificultando el ingreso de vehículos y peatones hacia las diferentes zonas de la Hacienda.

Figura 42

Diagnóstico funcional de la estructura.



Por tal motivo se planea rediseñar un correcto sistema de drenaje vial, con el propósito de adoptar un esquema de captación, conducción y evacuación de la escorrentía superficial generada por la lluvia, así como también el paso de las corrientes naturales de agua existentes a lo largo del proyecto, con el fin de preservar la vía en sus condiciones actuales.

En cuanto a las observaciones hidrométricas, el Pita es el principal río de esta zona, cuyos afluentes no son de gran caudal, por lo tanto, no influye directamente en el proyecto a realizar.

Cálculo de caudales probables

Para determinar el caudal, se considerará el método racional, por lo tanto, se obtiene los siguientes resultados:

Área de contribución

Se calcula mediante el área del talud y el área de calzada que fluyen sobre la sección de la cuneta

Pendiente

En el diseño se tomará en cuenta dos tipos de pendientes: La pendiente transversal = 2% y las pendientes longitudinales se obtuvieron del perfil vertical del diseño de la vía, cuyo valor está establecido por la velocidad del agua que circula durante su transición hacia el punto de desagüe (Lemos, 1999).

Tiempo de Concentración

Se define como el intervalo de tiempo que tarda en llegar a la zona de estudio una gota de agua caída en el punto más lejano de la cuenca natural (Lemos, 1999).

Para el cálculo del tiempo de concentración, se optó por utilizar el método de California, para el análisis de un tramo de vía, cuya ecuación se presenta a continuación:

$$t_c = 0,0195 * \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (31)$$

Dónde:

tc: tiempo de concentración

L: longitud de un tramo = 200 m

ΔH : desnivel entre cotas

Cálculo:

DATOS		
Longitud de tramo	200	m
Cota Inicial	2715,91	msnm
Cota Final	2719,75	msnm

$$tc = 0,0195 * \left(\frac{200^3}{2715,91 - 2719,75} \right)^{0,385}$$

$$tc = 5,28 \text{ min}$$

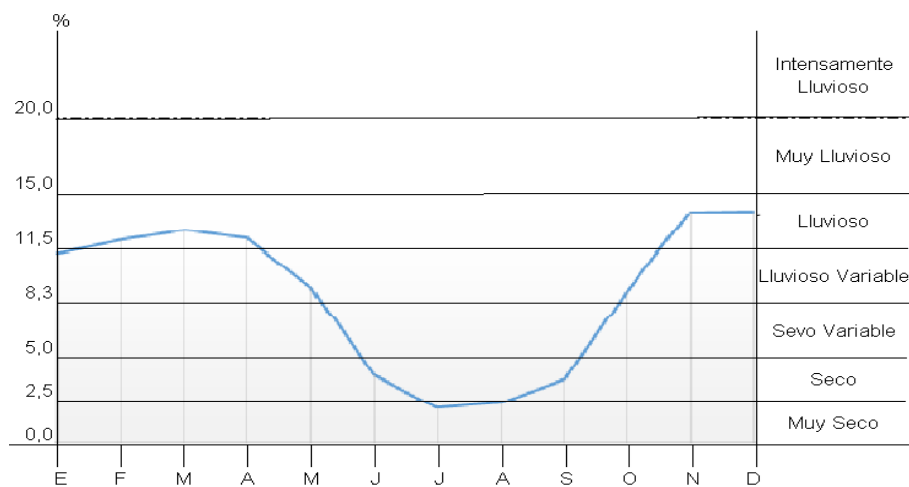
El tiempo de concentración para vía a relleno o terraplén, es menor que el tiempo de concentración recomendado por la EMAAPQ, por lo que se adopta el valor recomendado de 12 min (Lemos, 1999).

Intensidades de Lluvias Máximas

Las intensidades de lluvia máximas se calculan mediante fórmulas desarrolladas por el INAMHI mediante la determinación de las curvas IDF (Intensidad- Duración- Frecuencia) la cual introduce la lluvia máxima en 24 horas en mm/h con un período de retorno definido. Según el estudio de lluvias intensas del INAMHI de 1999 se ha zonificado al país en 32 zonas, donde la duración de la lluvia es variable entre 5 y 1440 minutos. En cuanto a nuestro proyecto el Ing. Marcelo Arce Carriel director de la Estación Agrometeorológica del IASA nos proporcionó la información del tiempo de duración de las precipitaciones el cual oscila entre 5 min < 36 min y figura de la distribución de la precipitación IASA (Terán & Villacrés, 2006).

Figura 43

Gráfico de la distribución de la Precipitación IASA.



Nota. Recuperada de (Arce, 2021).

El área de influencia del sitio de estudio se localiza en la Zona 13 de la Zonificación de intensidades de lluvia propuesta por el INAMHI y que son una actualización de normas de diseño de obras de drenaje del MOP (Terán & Villacrés, 2006).

Periodo de Retorno

A continuación, se presenta los periodos de retorno según el tipo de construcción, en este caso se tomará el dato de 25 años, ya que se está realizando el análisis para el diseño de cunetas.

Tabla 86

Periodos de retorno.

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	CAMINOS VECINALES	RED DE CARRETERAS
Cunetas	10	25

Nota. Recuperada de (Salgado, 2001).

El periodo de retorno a considerar para el diseño de cunetas y alcantarillas será de 25 años.

Intensidad Diaria para un Periodo de Retorno

Según los datos de la estación agrometeorológica perteneciente al IASA obtenemos el valor del I_{dtr} máximo siendo este de 3,12 en un tiempo de retorno de 25 años debido al tipo de estructura a diseñar, y el análisis del período de diseño de las obras de drenaje como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 87

Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h (I_{dtr}).

TR (años)	Duración de la lluvia, en minutos							
	5	20	40	60	80	100	120	1440
25	52,891	26,445	18,700	15,268	13,223	11,827	10,796	3,117

Intensidad

Para el cálculo de la intensidad se utilizará la siguiente fórmula correspondiente a la estación meteorológica La Tola según la zonificación analizada y el mapa de isolíneas del INAMHI, debido a la cercanía al sitio de estudio, considerando que posee datos similares como es en la altitud y la historia de datos.

$$I = 76.96 * I_{dTR} * t^{-0.2953} \quad (32)$$

Dónde:

I: Intensidad precipitación para cualquier periodo de retorno (mm/h)

t: Duración lluvia (minutos)

I_{dtr} : Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en (mm/h)

Cálculo:

$$I = 76.96 * 3,117 * 12^{-0.2953}$$

$$I = 115,165 \text{ mm/h}$$

Coeficiente de Escorrentía (C)

El coeficiente de escorrentía a considerar según la cobertura vegetal y a la pendiente del terreno es de $C=0,35$, siendo este una cobertura vegetal de hierba Grama con una pendiente suave de 5%, basado en la tabla IX.5 del (MTO, 2003).

Características del sistema de drenaje

La evaluación de cada una de las estructuras de drenaje existente y los estudios hidrológicos de la zona permiten la determinación del nuevo sistema de drenaje el cual se adaptará a la vía actual, estableciendo parámetros de las NORMAS DE DRENAJE DEL MOP.

Debido a que las secciones transversales y longitudinales de la vía varían, las longitudes de las alcantarillas existentes serán modificadas de acuerdo con la variación longitudinal de la vía, extendiendo tanto a la entrada como a la salida de estas. En la siguiente tabla se muestra la ubicación exacta de las alcantarillas y por lo tanto los tramos de cunetas laterales a lo largo de la vía.

Tabla 88

Ubicación de las alcantarillas por tramo.

TRAMO	ABSCISA	
	INICIAL	FINAL
I	0+000	0+214,06
II	0+214,06	0+501,13
III	0+501,13	0+788,20
IV	0+788,20	1+075,27
V	1+075,27	1+185,00
VI	1+185,00	1+648,63
VII	1+648,63	1+866,67
VIII	1+866,67	2+265,82
IX	2+265,82	2+626,33
X	2+626,33	2+882,07
XI	2+882,07	3+127,13
XII	3+127,13	3+382,05
XIII	3+382,05	3+492,18
XIV	3+492,18	3+702,16
XV	3+702,16	3+841,85
XVI	3+841,85	3+953,17
XVII	3+953,17	4+056,08
XVIII	4+056,08	4+175,55
XIX	4+175,55	4+408,73
XX	4+408,73	4+649,87

Se recomienda que en los casos donde la pendiente del cauce natural sea demasiado fuerte en la salida de las alcantarillas, se deberá construir rápidas en la cuales las soleras presentarán dientes con el fin de modificar la rugosidad del fondo del canal, consiguiendo que la velocidad del flujo de agua disminuya evitando socavamientos de la estructura.

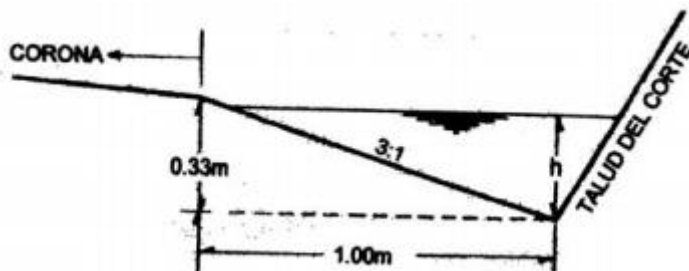
Cunetas Laterales

En las secciones triangulares se recomienda que el talud hacia la vía tenga como mínimo 3:1, preferentemente 4:1 y del lado del corte seguirá sensiblemente la

inclinación del talud de este; considerando, para el caso, una lámina de agua no mayor a 30 cm (MTOP, 2003)

Figura 44

Secciones típicas de Cunetas.



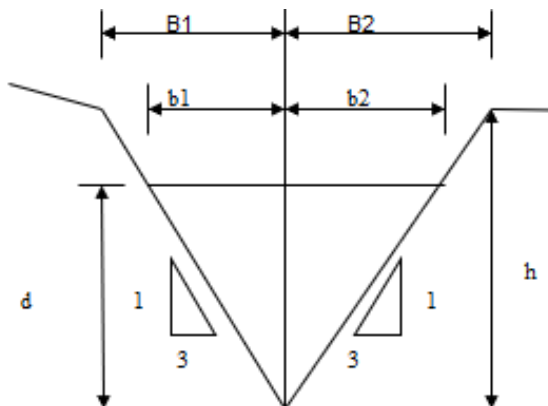
Nota. Recuperada de (MTOP, 2003)

El diseño de cunetas de la vía actual del proyecto, estarán revestidas de hormigón simple, estas servirán para captar, conducir y evacuar los flujos de agua generados de las precipitaciones de lluvia que se escurren los taludes y de la media calzada en la ubicación de las entradas y salidas de las alcantarillas más cercanas.

El cálculo de las cunetas laterales depende del calado y la velocidad del flujo por lo cual se asume un flujo uniforme a lo largo de las cunetas, es decir se basa en el principio de flujo uniforme.

Figura 45

Dimensiones de la cuneta lateral.



Para el cálculo de diseño se utilizará las siguientes fórmulas:

Área mojada (A_m)

$$A_m (m^2) = b_1 \left(\frac{d}{2}\right) + b_2 \left(\frac{d}{2}\right) \quad (33)$$

Perímetro Mojado (P_m)

$$P_m (m) = (b_1^2 + d^2)^{0,5} + (b_2^2 + d^2)^{0,5} \quad (34)$$

Radio Hidráulico (R)

$$R (m) = \left(\frac{A}{P}\right) \quad (35)$$

Velocidad de flujo

$$V = \frac{1}{n} (R^{2/3}) (J^{1/2}) \quad (36)$$

Dónde:

V: Velocidad en m/s

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

J: Pendiente hidráulica en %

R: Radio hidráulico en m

Coeficiente de Manning

Este coeficiente determina la resistencia de un flujo en un canal, en función del tipo de su recubrimiento.

Tabla 89

Coeficiente de Manning.

Tipo de recubrimiento	Coeficiente (n)
Cunetas revestidas de Hormigón	0,014

Nota. Recuperada de (MTOPI, 2003).

El valor por tomar es un coeficiente de Manning de 0,014 al ser cunetas revestidas de hormigón, basada en la tabla del (MTOPI, 2003).

El caudal de diseño se obtendrá con la ecuación de la continuidad:

$$Q = A * V \quad (37)$$

A partir de la constitución del terreno se ha tomado la velocidad permisible de acuerdo con la siguiente tabla de velocidades máximas recomendables en canales no revestidos, cuyo valor es de 0,45 m/s por tratarse de un tipo de suelo de arena fina, basada en la tabla del (MTOPI, 2003).

Tabla 90

Velocidades máximas recomendables en canales no revestidos.

Material	Velocidad m/s
Arena fina	0,45

Nota. Recuperada de (MTOP, 2003)

La pendiente de la cuneta se ha tomado igual a la pendiente longitudinal del camino, por lo cual de esta forma irá paralela a la calzada. Al aplicar estas ecuaciones para el diseño de las cunetas laterales se encontraron varios resultados en cuanto a las secciones de estas, los cuales están expresados en la siguiente tabla.

Tabla 91

Cálculo del caudal probable

Tramo	Abscisa		Long	Pdt	Ancho Calzada	Ancho Talud	Área Calzad	Área Talud	A. Total	H	H talud	Tc Cuneta	Tc Talud	Tc Total	Inten	Qp
	Inicial	Final	(m)	(%)	(m)	(m)	Ha	Ha	ha	(m)	(m)	(min)	(min)	(min)	(mm/s)	(m ³ /s)
I	0+000	0+214,06	214,06	1,29	5,9	40	0,126	0,856	0,983	2,76	0,25	6,486	2,356	8,842	145,248	0,139
II	0+214,06	0+501,13	287,07	3,28	4,1	40	0,118	1,148	1,266	9,42	1,50	5,676	1,182	6,858	154,340	0,190
III	0+501,13	0+788,20	287,07	3,28	4,1	40	0,118	1,148	1,266	9,42	1,00	5,676	1,382	7,058	153,285	0,189
IV	0+788,20	1+075,27	287,07	3,28	2,9	40	0,083	1,148	1,232	9,42	1,00	5,676	1,382	7,058	153,285	0,184
V	1+075,27	1+185,00	109,73	-3,65	2,9	40	0,032	0,439	0,471	4,01	2,00	2,598	1,058	3,656	179,383	0,082
VI	1+185,00	1+648,63	463,63	3,92	2,25	40	0,104	1,855	1,959	18,17	20,50	7,666	0,432	8,098	148,332	0,282
VII	1+648,63	1+866,67	218,04	3,92	2,25	40	0,049	0,872	0,921	8,55	20,00	4,288	0,436	4,724	168,720	0,151
VIII	1+866,67	2+265,82	399,15	3,92	2,2	40	0,088	1,597	1,684	15,65	50,00	6,831	0,306	7,138	152,875	0,250
IX	2+265,82	2+626,33	360,51	3,92	2,2	40	0,079	1,442	1,521	14,13	45,00	6,316	0,319	6,635	155,565	0,230
X	2+626,33	2+882,07	255,74	3,92	2,2	40	0,056	1,023	1,079	10,03	36,00	4,849	0,348	5,196	164,923	0,173
XI	2+882,07	3+127,13	245,06	5,26	2,9	40	0,071	0,980	1,051	12,89	45,00	4,190	0,319	4,509	170,613	0,174
XII	3+127,13	3+382,05	254,92	5,26	2,9	40	0,074	1,020	1,094	13,41	18,00	4,319	0,454	4,773	168,307	0,179
XIII	3+382,05	3+492,18	110,13	4,52	2,2	40	0,024	0,441	0,465	4,98	11,50	2,399	0,540	2,939	188,992	0,085
XIV	3+492,18	3+702,16	209,98	8,59	2,6	40	0,055	0,840	0,895	18,04	35,00	3,080	0,352	3,431	182,121	0,158
XV	3+702,16	3+841,85	139,69	1,99	2,2	40	0,031	0,559	0,589	2,78	50,00	3,951	0,306	4,258	172,965	0,099
XVI	3+841,85	3+953,17	111,32	-1,92	2,9	40	0,032	0,445	0,478	2,14	24,00	3,364	0,406	3,770	178,067	0,083
XVII	3+953,17	4+056,08	102,91	5,42	2,6	40	0,027	0,412	0,438	5,58	9,00	2,123	0,593	2,716	192,580	0,082
XVIII	4+056,08	4+175,55	119,47	8,99	2,6	40	0,031	0,478	0,509	10,74	6,00	1,960	0,693	2,653	193,662	0,096
XIX	4+175,55	4+408,73	233,18	6,15	2,6	40	0,061	0,933	0,993	14,34	10,00	3,797	0,569	4,366	171,928	0,166
XX	4+408,73	4+649,87	241,14	6,15	2,6	40	0,063	0,965	1,027	14,83	8,00	3,896	0,620	4,517	170,541	0,170

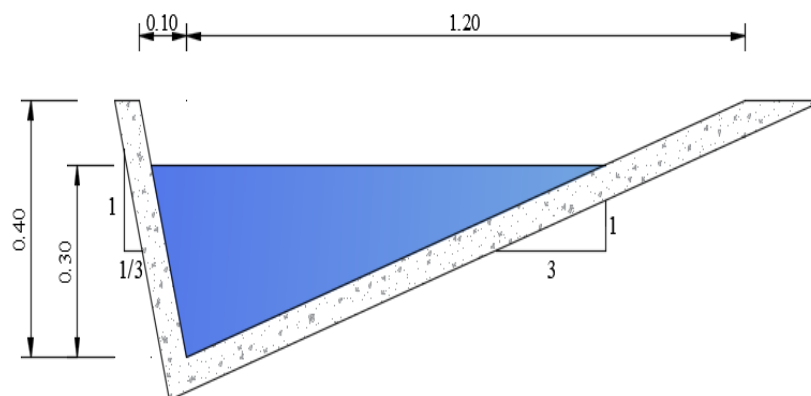
Tabla 92*Análisis de las dimensiones de las secciones.*

Tramo	Base	Base	Calado	Base	Base	Calado	Área	Perim.	R. Hidra	Vel	Qd	Qd>Qp
	B1	B2	H	b1	b2	d	m ²	m	(m)	(m/seg)	(m ³ /seg)	
I	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	1,4281	0,149	OK
II	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	2,2771	0,237	OK
III	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	2,2771	0,237	OK
IV	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	2,2771	0,237	OK
V	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	2,4021	0,250	OK
VI	0,1	1,20	0,4	0,100	0,900	0,30	0,150	1,265	0,119	2,8111	0,422	OK
VII	0,1	1,20	0,4	0,100	0,900	0,30	0,150	1,265	0,119	2,8111	0,422	OK
VIII	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	2,4894	0,259	OK
IX	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	2,4894	0,259	OK
X	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	2,4894	0,259	OK
XI	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	2,8837	0,300	OK
XII	0,1	1,05	0,35	0,083	0,750	0,25	0,104	1,054	0,099	2,8837	0,300	OK
XIII	0,1	0,90	0,3	0,067	0,600	0,20	0,067	0,843	0,079	2,3036	0,154	OK
XIV	0,1	0,90	0,3	0,067	0,600	0,20	0,067	0,843	0,079	3,1757	0,212	OK
XV	0,1	0,90	0,3	0,067	0,600	0,20	0,067	0,843	0,079	1,5285	0,102	OK
XVI	0,1	0,90	0,3	0,067	0,600	0,20	0,067	0,843	0,079	1,5014	0,100	OK
XVII	0,1	0,90	0,3	0,067	0,600	0,20	0,067	0,843	0,079	2,5226	0,168	OK
XVIII	0,1	0,75	0,25	0,050	0,450	0,15	0,038	0,632	0,059	2,6818	0,101	OK
XIX	0,1	0,90	0,3	0,067	0,600	0,20	0,067	0,843	0,079	2,6871	0,179	OK

Para el diseño definitivo de la obra de drenaje en la Hacienda el Prado se considerará las secciones de la cuneta cuyo caudal de diseño sea mayor y se tomará una cuneta tipo para todo el proyecto, además que es la más común por su facilidad de construcción y mantenimiento, ante este criterio se asume una sección con las siguientes dimensiones.

Figura 46

Sección tipo de Cuneta.



Datos:

d: Altura de agua = 0,30 m

h: Altura de cuneta = 0,40 m

b1: $1/3 \cdot d = 0,1\text{m}$

b2: $3 \cdot d = 0,9\text{m}$

B1: 0,1 m

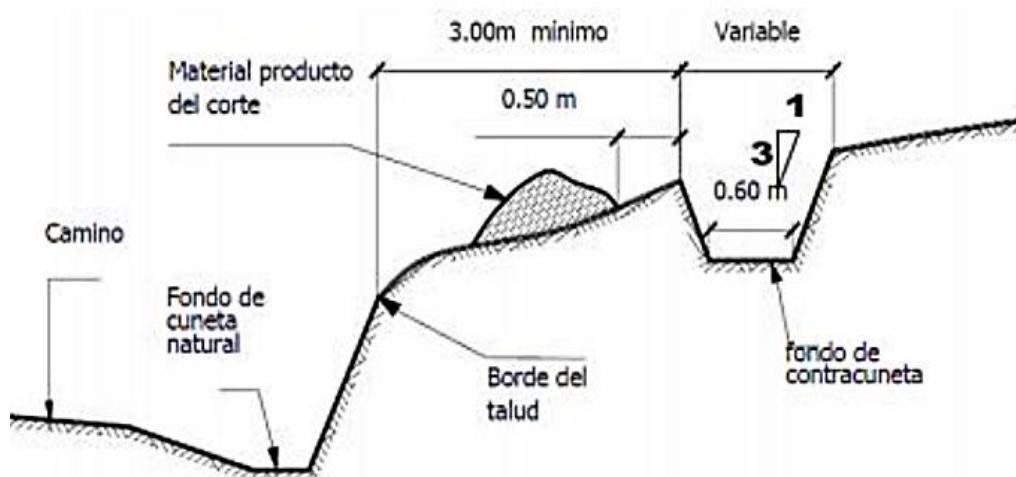
B2: $(b2 \cdot h) / d = 1,20\text{ m}$

Cunetas de coronación

Al tratarse de cunetas de coronación usualmente se utilizan secciones de forma trapezoidal, las mismas que deben estar localizadas a una distancia mínima entre la contracuneta y la corona del corte a unos 5,00 m, o igual a la altura del corte, si estas son mayores a 5m. Estas deben ser paralelas al eje de la carretera.

Figura 47

Cuneta de coronación.



Nota. Recuperada de (MTOP, 2003)

En la siguiente tabla se muestran los tramos donde irán ubicadas las cunetas de coronación a lo largo de la vía.

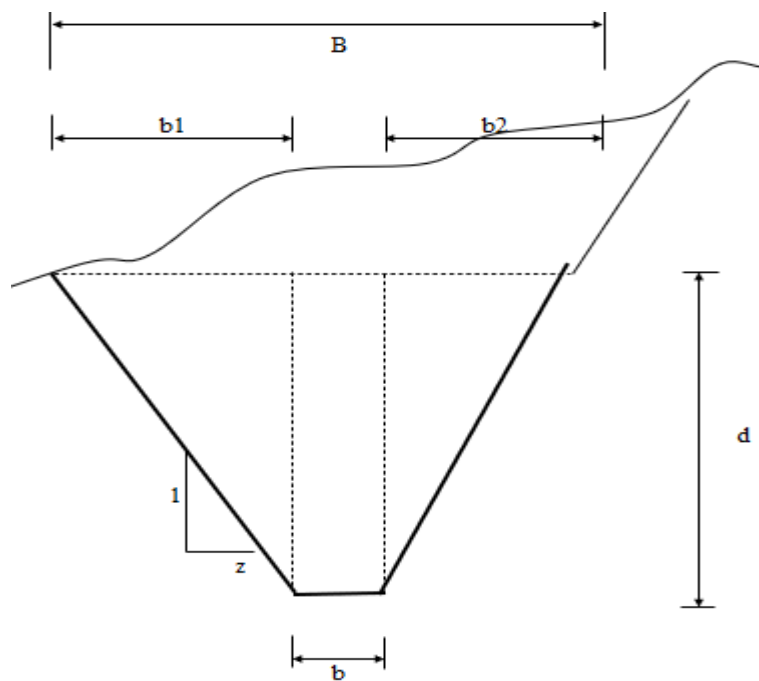
Tabla 93

Ubicación de cunetas de coronación.

TRAMO	ABSCISA	
	INICIAL	FINAL
VI	1+190	1+640
VII	1+650	1+860
VIII	1+870	2+260
XIX	2+270	2+630
X	2+640	2+880
XI	2+890	3+130
XIV	3+450	3+700
XV	3+710	3+840
XVI	3+850	3+950

Figura 48

Esquema Cuneta de Coronación.



A continuación, se considera el cálculo de factores que permiten el diseño de las cunetas de coronación:

Área mojada (Am)

$$Am (m^2) = (b + z * d) * d \quad (38)$$

Perímetro Mojado (Pm)

$$Pm (m) = b + 2 * d * (1 + z^2)^{0,5} \quad (39)$$

Radio Hidráulico (R)

$$R (m) = \left(\frac{A}{P}\right) \quad (40)$$

Velocidad de flujo

$$V = \frac{1}{n} (R^{2/3})(J^{1/2}) \quad (41)$$

Dónde:

V: Velocidad en m/s

n: Coeficiente de rugosidad de Manning

J: Pendiente hidráulica en %

R: Radio hidráulico en m

Coeficiente de Manning

El valor a tomar de este coeficiente de Manning será 0,014 al de cunetas revestidas de hormigón.

Caudal de diseño y velocidad máxima

El caudal de diseño se obtendrá con la ecuación de la continuidad. En cuanto a la velocidad máxima recomendable se tomará el mismo valor 0,45 m/s para un tipo de suelo de arena fina.

Coefficiente de escorrentía

El coeficiente de escorrentía que se considera para las cunetas de coronación, según la cobertura vegetal y la pendiente del terreno, es de $C=0,35$, siendo este una cobertura de vegetación Semipermeable con una pendiente suave de 1%, basada en la tabla IX.5 del (MTO, 2003).

Al aplicar estas ecuaciones para el diseño de las cunetas de coronación se encontraron varios resultados en cuanto a las secciones de estas, los cuales están expresados en la siguiente tabla.

Para el diseño definitivo de cunetas de coronación se considerará las secciones de la cuneta cuyo caudal de diseño sea mayor y se tomará una cuneta de coronación tipo para todo el proyecto.

Tabla 94

Cálculos de diseño.

CÁLCULOS DEL DISEÑO										
Tramo	Abscisa		Longitud (m)	Pendiente (%)	Ancho talud (m)	Área talud Ha	H talud (m)	Tc talud (min)	Intensidad (mm/seg)	Qp (m3/s)
	INICIAL	FINAL								
VI	1+190	1+640	450	1	40	1,800	20,5	7,071	153,366	0,268
VII	1+650	1+860	210	1	40	0,840	20	2,960	188,848	0,154
VIII	1+870	2+260	390	1	40	1,560	50	4,252	173,187	0,263
XIX	2+270	2+630	360	1	40	1,440	45	4,037	175,348	0,245
X	2+640	2+880	240	1	40	0,960	36	2,754	192,129	0,179
XI	2+890	3+130	240	1	40	0,960	45	2,528	196,115	0,183
XIV	3+450	3+700	250	1	40	1,000	35	2,919	189,484	0,184
XV	3+710	3+840	130	1	40	0,520	50	1,195	234,543	0,119
XVI	3+850	3+950	100	1	40	0,400	24	1,171	235,692	0,092

Tabla 95

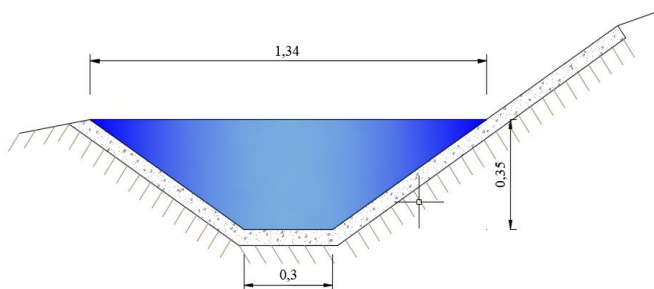
Análisis de las dimensiones de las secciones.

Tramo	Base	Calado	Área	Perim.	Radio. Hidráulico	Velocidad	Caudal	Qd>Qp
	b	d	m ²	m	(m)	(m/seg)	(m ³ /seg)	
VI	0,30	0,35	0,187	1,143	0,164	2,138	0,400	OK
VII	0,20	0,25	0,092	0,802	0,115	1,685	0,155	OK
VIII	0,30	0,35	0,187	1,143	0,164	2,138	0,400	OK
XIX	0,25	0,30	0,135	0,972	0,139	1,918	0,260	OK
X	0,25	0,30	0,135	0,972	0,139	1,918	0,260	OK
XI	0,25	0,30	0,135	0,972	0,139	1,918	0,260	OK
XIV	0,30	0,25	0,117	0,902	0,130	1,829	0,214	OK
XV	0,25	0,20	0,077	0,731	0,105	1,590	0,122	OK
XVI	0,25	0,20	0,077	0,731	0,105	1,590	0,122	OK

Para el diseño definitivo de las cunetas de coronación se considerará las secciones de la cuneta cuyo caudal de diseño sea mayor y se tomará una cuneta de coronación tipo para todo el proyecto.

Figura 49

Sección tipo Cuneta de Coronación.



Datos:

ha: Altura de agua = 0,35 m

b1: $1/1,5 \cdot ha = 0,52\text{m}$

b2: $1/1,5 \cdot ha = 0,52\text{m}$

B= 1,34 m

A continuación, se presentan las comprobaciones tanto de la cuneta lateral como la cuneta de coronación, en el software FlowMaster, teniendo como resultado que el dimensionamiento propuesto para las dos obras menores, son óptimas para el funcionamiento del drenaje vial.

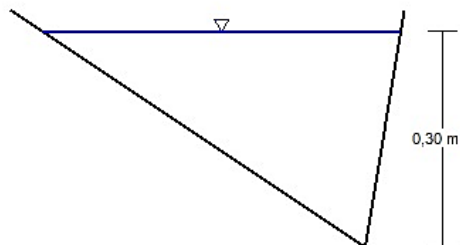
Tabla 96

Análisis del software FlowMaster.

Parámetros de Análisis		
Q máx	0,37	m ³ /s
V	2,44	m/s
Tipo de flujo	Supercrítico	
Observación	OK	

Figura 50

Análisis del software FlowMaster para cunetas laterales.

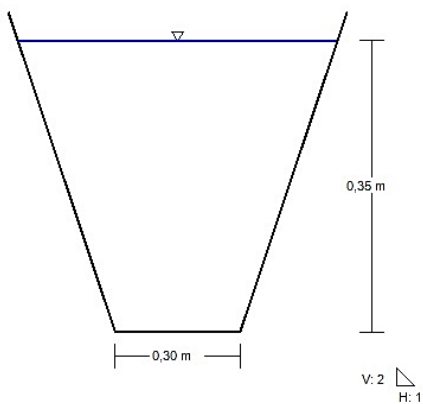
**Tabla 97**

Análisis del software FlowMaster.

Parámetros de Análisis	
Q máx	0,4 m ³ /s
V	2,14 m/s
Tipo de flujo	Supercrítico
Observación	OK

Figura 51

Análisis del software FlowMaster para cunetas de coronación.



Sub - drenes

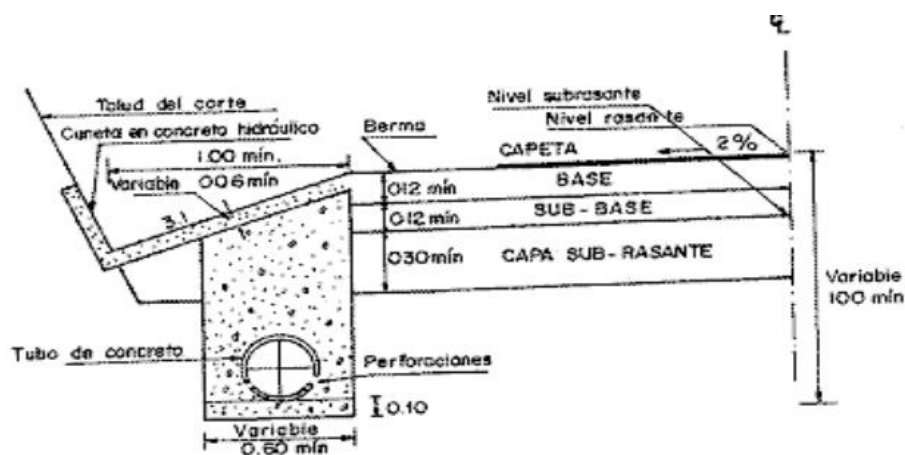
Los sub - drenes son mecanismos que se basan en zanjas rellenas con material granular permeable que a su vez está rodeado de un filtro y colector, se utilizan cuando se presenta agua superficial a niveles que puedan afectar la estabilidad de la vía.

Zanja

Según el nivel freático existente varía la profundidad, de tal forma que para el proyecto se tendrá una profundidad de 1,60 m, cumpliendo con lo recomendable en las normas del MOP (MOP, 2002) en la cual se establece una profundidad mínima de 1 m. El ancho de será de 70 cm siendo el mínimo 60 cm y con una pendiente longitudinal del 0,15% ya que su máximo es de 0,50%.

Figura 52

Sección tipo de Sub – dren.



Nota. Recuperada de (Suárez, 2006).

Filtro:

El filtro se encuentra ubicado dentro del dren, constituido por material granular filtrante, colocado por debajo, sobre y alrededor de los tubos de drenaje, este material

consta de roca o piedra triturada y arena dura, limpia y durable, terrones de arcilla u otras sustancias inconvenientes. El material del filtro será de clase II y teniendo un equivalente de arena no mayor de 75 según lo establecido en la norma AASHTO T – 147 del (MOP, 2002), para el tipo de camino del proyecto.

Tabla 98

Porcentaje de material que pasa para la clase II.

Clase II	
Tamiz	% que pasa
1" (24,4 mm)	100
3/4" (19,9 mm)	90 - 100
3/8" (9,5 mm)	40 - 100
No. 4 (4,75 mm)	25 - 40
No. 8 (2,36 mm)	18 - 3
No. 30 (0,60 mm)	5 - 15
No. 50 (0,30 mm)	0 - 7
No. 200 (0,075 mm)	0 - 3

Nota. Recuperada de (MOP, 2002).

Colector:

Para el proyecto se propone colocar un tubo de cemento con diámetro de 20 cm, perforado a 30° con la horizontal, proyectado a gravedad, el cual va a cumplir la función de recoger el agua filtrada, que posteriormente será evacuada hacia un colector. Al ser un suelo de tipo semipermeable, se consideró asentar la tubería sobre una capa de hormigón pobre de 1plg de espesor.

Tabla 99*Resistencia del colector a carga.*

Diámetro de tubo (cm)	Carga de rotura (kgf/m)
< 35	1,000
35 a 70	1,400
> 70	2,000

Nota. Recuperada de (MOP, 2002).**Tabla 100***Cálculos del diseño.*

DATOS		
Coeficiente de Rugosidad n	0,013	
D diámetro de colector	0,2	m
Pendiente Jo	0,15	%
Área	0,031	m ²
Perímetro	0,628	m
R. Hidráulico	0,050	m
Velocidad	0,404	m/s
Q diseño	0,013	m ³ /s

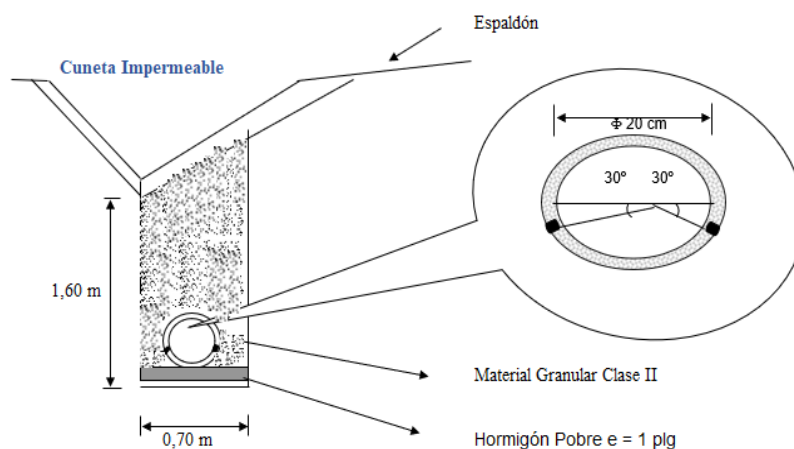
Coeficiente de Manning

De acuerdo a las tablas propuestas por (Chow, 1959) el coeficiente de Manning a utilizarse en función a las características del contorno es de $n=0,013$ correspondiente a cemento mortero.

Como diseño definitivo, se ha considerado secciones de un sub-dren tipo, para todo el proyecto basado en la (MOP, 2002), a continuación, se detalla las dimensiones de este.

Figura 53

Sección tipo de Sub – dren.



Alcantarillas

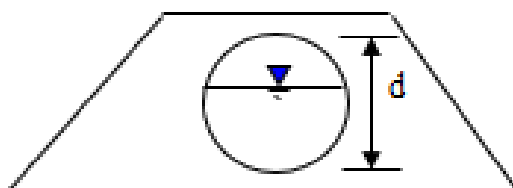
Cuando se realiza una obra de ingeniería se procura optar por un diseño con beneficio – costo, siendo el factor económico de suma importancia, debido a que desempeña un papel fundamental en la selección del tipo de alcantarilla más apropiada, por esta razón en base a la importancia del proyecto se considera realizar una alcantarilla circular de metal, ya que posee características óptimas de construcción, operatividad, mantenimiento y económicas.

De esta manera, existen varios factores que se analizan para el diseño de la alcantarilla, como son la sección, el material y su embocadura que, para la longitud y pendiente que posee, sea capaz de evacuar el caudal de diseño, provocando un nivel de agua en la entrada que no ponga en peligro de falla estructural, ni funcional la

estructura que se desea atravesar optimizando los recursos disponibles. Es decir, buscar la solución técnico-económica más conveniente (Alonso, 2005)

Figura 54

Sección transversal de alcantarilla.



En el diseño de las alcantarillas se requiere, el caudal de aportación el cual consta del caudal de descarga de las cunetas laterales, cunetas de coronación, sub-drenes y el caudal de descarga de quebradas. A continuación, se muestran los caudales de aportación por cada tramo.

Tabla 101

Aportación de Caudal para alcantarillas.

CÁLCULO DE APORTACIÓN PARA ALCANTARILLAS					
TRAMO	Abscisa Alcant.	Caudal de Cunetas Laterales	Caudal Cunetas de Coronación	Caudal de Sub-drenes	Caudal de Aportación Total
I	0+000,00	0,139		0,013	0,151
II	0+214,06	0,190		0,013	0,203
III	0+501,13	0,189		0,013	0,201
IV	0+788,20	0,184		0,013	0,196
V	1+075,27	0,082		0,013	0,095
VI	1+185,00	0,282	0,268	0,013	0,564
VII	1+648,63	0,151	0,154	0,013	0,318
VIII	1+866,67	0,250	0,263		0,513
IX	2+265,82	0,230	0,245		0,476
X	2+626,33	0,173	0,179		0,352
XI	2+882,07	0,174	0,183		0,357
XII	3+127,13	0,179			0,179

XIII	3+382,05	0,085		0,085
XIV	3+492,18	0,158	0,184	0,343
XV	3+702,16	0,099	0,119	0,218
XVI	3+841,85	0,083	0,092	0,174
XVII	3+953,17	0,082		0,082
XVIII	4+056,08	0,096		0,096
XIX	4+175,55	0,166		0,166
XX	4+408,73	0,170		0,170

Análisis de alternativas

A continuación, se detalla las ventajas y desventajas de las alcantarillas para definir qué diseño es óptimo y económico.

Tabla 102

Ventajas y desventajas de las alcantarillas.

Alcantarillas rectangulares	Alcantarillas circulares.
Se necesita de un mayor tiempo de construcción	Bajo tiempo de construcción.
Costo de materiales elevado.	Menor costo de material.
Requiere de un mayor número de trabajadores.	Bajo número de personal calificado.
Volumen de materiales alto.	Bajo volumen de materiales (alcantarillas prefabricadas)
Cercanía de material pétreo en las minas de Pintag.	Mayor costo de traslado y colocación
Requiere de concreteteras.	Requiere de equipo básico.

Nota. Recuperada de (Terán & Villacrés, 2006)

Para el cálculo del diseño de alcantarillas se optará por alcantarillas circulares metálicas, las cuales presentan características óptimas en cuanto a construcción, operabilidad y mantenimiento, además son económicas lo cual es conveniente para el proyecto.

Hidráulica de las alcantarillas

En consecuencia, se considera que las alcantarillas al ser sección circular, se trabajara con flujo de régimen supercrítico, en el que el número de Froude es mayor que la unidad.

Carga permisible a la entrada (HEP)

La carga permisible de entrada de la alcantarilla (HEP) se considera para condiciones de precaución tomando en cuenta que no debe sobrepasar la corona de la carretera según la normativa MOP – 2003 (MTO, 2003), en el cual se establece los siguientes criterios para establecer la altura de remanso:

- Borde libre mínimo de 0.40 m hasta el nivel de la subrasante.
- Evitar en lo posible inundaciones aguas arriba de las alcantarillas.
- La carga en la entrada no debe ser mayor de 1.2 veces la altura de la sección. (Terán & Villacrés, 2006)

Velocidades máximas permisibles a la salida de las alcantarillas para evitar la erosión del terreno.

A partir de la constitución del terreno se ha tomado la velocidad permisible de acuerdo con la siguiente tabla de velocidades máximas recomendables en canales no revestidos, cuyo valor es de 0,45 m/s por tratarse de un tipo de suelo de arena fina, basada en la tabla del (MTO, 2003).

Coeficiente de rugosidad (n)

Se considera un coeficiente de rugosidad de $n=0,024$ para material de tubos de metal corrugados o tubos en arco (simples o revestido), cuyo valor es planteado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO, 2003).

Caudal de diseño

Para el diseño de la alcantarilla se utilizará el análisis del caudal de diseño (Qd), el que nos permitirá relacionar con el valor de caudal lleno (Qll), el cual se calculará con el método de la continuidad.

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * J^{\frac{1}{2}} \quad (42)$$

Dónde:

V: Velocidad (m/s)

R: Radio (m)

J: Pendiente

La relación de caudal de diseño con el caudal lleno nos sirve para ingresar en la tabla de Thormann-Franke que relaciona los caudales, velocidades y alturas de llenado a secciones llena y parcial. En esta relación encontramos los valores de la relación d/D, siendo (d) el calado con el que circulará el flujo de agua en el interior de la alcantarilla y (D) el diámetro impuesto. Existe en la misma tabla otra relación V'/V, siendo (V') la velocidad en la que va a funcionar la alcantarilla y (V) la velocidad a flujo lleno (Terán & Villacrés, 2006).

Para el diseño de las alcantarillas circulares se utiliza el caudal de aportación final de cada tramo. En la siguiente tabla se aprecia los resultados de los cálculos hidráulicos:

Tabla 103*Cálculos Hidráulicos.*

Abscisa Alcant.	Q' diseño (m ³ /s)	Diámetro Alcant. (m)	Área Alcant. (m ²)	Radio Hidráulico (m)	V (m/s)	Q' lleno (m ³ /s)	Q' diseño<Q' lleno
0+000,00	0,1514	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
0+214,06	0,2027	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
0+501,13	0,2014	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
0+788,20	0,1962	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
1+075,27	0,0948	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
1+185,00	0,5636	0,80	0,503	0,200	1,425	0,716	OK
1+648,63	0,3180	0,60	0,283	0,150	1,176	0,333	OK
1+866,67	0,5130	0,80	0,503	0,200	1,425	0,716	OK
2+265,82	0,4756	0,70	0,385	0,175	1,304	0,502	OK
2+626,33	0,3524	0,80	0,503	0,200	1,425	0,716	OK
2+882,07	0,3574	0,80	0,503	0,200	1,425	0,716	OK
3+127,13	0,1789	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
3+382,05	0,0854	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
3+492,18	0,3426	0,80	0,503	0,2	1,425	0,716	OK
3+702,16	0,2177	0,60	0,283	0,150	1,176	0,333	OK
3+841,85	0,1743	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
3+953,17	0,0821	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
4+056,08	0,0958	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
4+175,55	0,1660	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK
4+408,73	0,1703	0,50	0,196	0,125	1,042	0,205	OK

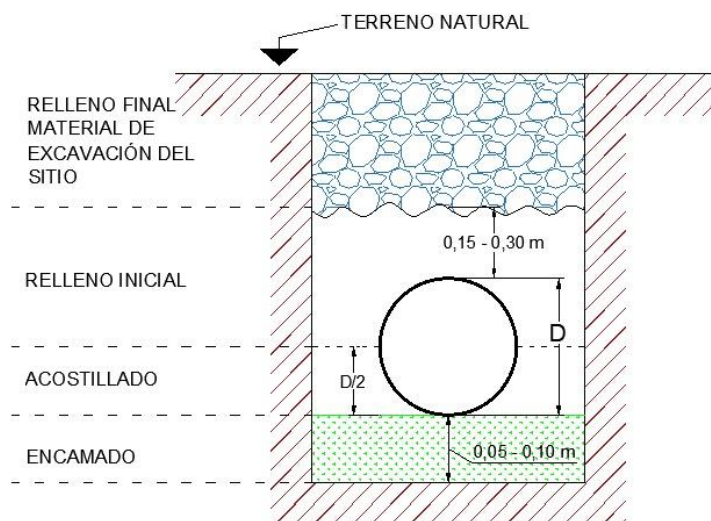
Tabla 104*Análisis de las dimensiones de las secciones.*

Q'/Qlleno	d/D	V'/V	d	V'	d. comercial
			(m)	(m/s)	(m)
0,740	0,653	1,07	0,3265	1,115	1,50
0,991	0,935	1,02	0,4675	1,063	1,50
0,985	0,910	1,02	0,455	1,063	1,50
0,959	0,865	1,04	0,4325	1,083	1,50
0,464	0,482	0,99	0,2410	1,031	1,50
0,787	0,682	1,07	0,5456	1,525	1,50
0,956	0,856	1,05	0,5136	1,235	1,50
0,716	0,640	1,07	0,512	1,525	1,50
0,948	0,849	1,05	0,5943	1,369	1,50
0,492	0,494	1,00	0,3952	1,425	1,50
0,499	0,500	1,00	0,4000	1,425	1,50
0,875	0,761	1,07	0,3805	1,115	1,50
0,418	0,451	0,96	0,2255	1,000	1,50
0,478	0,488	0,99	0,3904	1,411	1,50
0,655	0,600	1,05	0,3600	1,235	1,50
0,852	0,742	1,07	0,371	1,115	1,50
0,401	0,439	0,95	0,2195	0,990	1,50
0,469	0,482	0,99	0,2410	1,031	1,50
0,812	0,708	1,08	0,354	1,125	1,50
0,833	0,725	1,08	0,3625	1,125	1,50

Para el diseño definitivo utilizaremos alcantarillas circulares metálicas cuyo diámetro mínimo y comercial es de 1,50 metros.

Figura 55

Sección tipo de alcantarilla.



Trazado de la Red de Drenaje

Según (Rojas. M. R 1980) Consiste en la elaboración de un plano con la ubicación de cada una de las obras de arte menor. En el ANEXO C-I se encuentra detallado el trazado de la red de drenaje vial.

Capítulo IV

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Al efectuar la evaluación hidráulica del sistema de conducción principal, se puede concluir que dicha red presentó problemas en cuanto a los diámetros de las tuberías del Tramo III hacia Acuicultura, el cual es de 63mm causando que la velocidad de 4,13 m/s se encuentre fuera de los rangos admisibles en tuberías PVC, causando rupturas en las mismas, ocasionando pérdidas de agua y a su vez una se originan presiones negativas, por esta razón se rediseño dicho tramo optando por un diámetro de 110mm, evitando problemas hidráulicos. Adicionalmente se realizó el análisis hidráulico del desagüe del reservorio, el cual no cumple con una pendiente adecuada para su funcionamiento impidiendo la salida correcta del agua, por tal razón se optó por incrementar la pendiente al 2%, basándose en el caudal de ingreso de 0,7089 m³/s. Mientras que para el drenaje agrícola y vial se consideró un diseño total, debido al daño de la infraestructura y la falta de esta.
- Al realizar el diagnóstico de la red principal de riego, se pudo observar que el mismo se encontraba en óptimas condiciones, debido al mantenimiento constante de la misma por lo que se optó en mantener la infraestructura en el rediseño, en cuanto al drenaje agrícola, se puede afirmar que cuatro invernaderos de estudio no cuentan con un drenaje y mientras que los dos restantes sí poseen drenaje, pero no cumplen con un mantenimiento adecuado. Finalmente se pudo observar que la vía se divide en dos tramos: el primer tramo desde administración hasta ganadería cuenta con una distancia de 1,185 Km, el cual posee un drenaje en malas condiciones por su falta de mantenimiento y el segundo tramo desde ganadería

hasta acuicultura el cual carece de una red de drenaje y cuenta con una distancia de 3,464 Km.

- Actualmente la demanda hídrica de los invernaderos de estudio es de 1,799 lt/s, llegando a la conclusión que el caudal que dota (20lt/s) es el suficiente para cubrir con el requerimiento hídrico, por lo cual no necesita un rediseño total de la infraestructura.
- Los muestreos realizados en las dos captaciones Pailones y Ganadería, permitiendo determinar los parámetros como la toxicidad, salinidad, infiltración, alcalinidad, comportamiento del pH y nutrientes de la calidad de agua, los cuales al ser analizados se obtuvieron resultados que se encuentran dentro de los rangos establecidos, por ende, se puede afirmar que el agua es apta para un plan de cultivo.
- En el área del proyecto se propuso el diseño de la red de drenaje superficial, la cual permitirá la evacuación del exceso de agua de los invernaderos, que será conducida hacia el drenaje vial, evitando que exista encharcamiento y pérdidas de cultivos. Para el diseño de este sistema se consideró la pendiente del 2%, pues esta constituye un factor importante al momento de incidir directamente en los cultivos, y a su vez este parámetro determina las medidas de conservación y práctica de manejos necesarias en la producción. Se optó por tomar el mayor caudal de 0,0058 m³/s, para el diseño definitivo de los drenes de cada invernadero, y así cumplir con las condiciones generales de los mismos.
- Se consideró una alternativa para el diseño de drenaje vial, siendo esta la implementación de cunetas laterales, las mismas que se diseñó de acuerdo con la pendiente longitudinal de la vía, tomando en cuenta que dichas estructuras no sobrepasan del 14% como está dispuesto en Norma de Diseño Geométrico de Carreteras 2003 (MTO). Se optó por una sección tipo, basándose en el mayor

caudal de diseño 0,282 m³/s, dando como resultado cunetas de 120 cm de largo y 40 cm de alto, para todo el tramo de la vía. En cuanto a las cunetas de coronación para su dimensionamiento, se tomó en consideración el caudal de diseño de 0,400 m³/s, dando como resultado cunetas de 30 cm de largo y 45 cm de alto. Finalmente se consideró un sistema de alcantarillas circulares (de diámetro de 0,80 m), debido a que presenta características ideales en cuanto a su mantenimiento, operatividad y construcción. La implementación del drenaje vial facilitará la movilidad vehicular, ya que existirá mayor drenaje, evitando el acumulo de agua en la vía.

- En relación con el presupuesto se analiza los volúmenes de obra de cada sistema de red y se especifica el precio unitario de cada rubro, cuyo precio referencial se tomó de una Base de datos perteneciente al Cuerpo de Ingenieros del Ejército, el cual contiene mano de obra, materiales y equipo con los precios actualizados del 2021, resumidos en el ANEXO D-I.

Recomendaciones

- Es importante el mantenimiento continuo de la obra de captación, especialmente en el vertedero, ya que existe gran acumulo de hojas y ramas en la rejilla, impidiendo el correcto funcionamiento de este.
- Para un correcto mantenimiento del reservorio se recomienda vaciar el tanque por completo por lo menos tres veces al año, revisando cuidadosamente que la geomembrana no presente fisuras o grietas, para evitar la infiltración del agua.
- Para el desagüe del reservorio se deberá colocar a una pendiente de mínimo de 2%, para su correcta funcionalidad, evitando desborde del agua.
- Se sugiere el correcto mantenimiento de la conducción de la red principal, a través de un vaciado total de las tuberías, cerrando de forma lenta las válvulas de paso,

así evitando que se produzca un golpe de ariete, y previniendo acumulación de partículas sedimentables.

- Realizar los mantenimientos periódicos, en las válvulas reductoras, debido al acumulo de limos, y adicional a esto colocar válvulas de alivio rápido, para regular las presiones evitando las rupturas en las tuberías.
- Es necesario cambiar el diámetro de tubería de 63mm a un diámetro de 110mm, en los ramales del tramo III, dado que existe un gran número de pérdida, causando incremento de velocidad hasta roturas en la tubería.
- Se recomienda tener horarios establecidos para un control de riego, según la demanda hídrica de cada invernadero.
- Para el tramo de conducción desde Ganadería hacia los diferentes invernaderos se recomienda cambiar el diámetro de la tubería de 110mm a 140mm, con la finalidad de que exista mayor presión.
- Para obtener mejores resultados en el riego, se debe implementar un sistema de filtrado en cada invernadero, y adicional a esto realizar un mantenimiento constante en la caseta de filtrado.
- En el diseño de la red de drenaje agrícola, se aconseja colocar un material granular filtrante en la base de la zanga superficial, para retener los sólidos y permitir el paso libre del agua.
- Tomar en cuenta el porcentaje de pendiente establecido, para el diseño de las zanjas, además de supervisar que la construcción de los mismos no sobrepase las dimensiones propuestas
- Se aconseja realizar el mantenimiento de las zanjas cuando estas sean necesarias, con la finalidad de evitar obstáculos que impidan una correcta evacuación del exceso del agua.

- Con respecto al diseño del sistema de drenaje vial, se recomienda seguir el proceso constructivo según lo establecido en las Normas, tanto de la MTOP como la MOP.
- Para la conservación de la vía, se recomienda la colocación de los sub-drenes, puesto que son de gran importancia para interceptar el agua subterránea y de infiltración.
- Verificar los resultados de los dimensionamientos de los sistemas de drenaje, a través de un software, con el objetivo de un análisis más profundo y certero.
- Mejorar el sistema de bombeo de la calzada, a través de material granular, con el objetivo de facilitar el escurrimiento superficial del agua, hacia las cunetas.

Referencias Bibliográficas

- Alonso, F. (2005). *DISEÑO HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS*. Obtenido de https://sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2014-12-29_05-35-32112876.pdf
- Arce, M. (2021). *Gráfico de la distribución de la Precipitación IASA*. Sangolquí.
- Cánovas Cuenca, J. (1986). *Calidad Agronómica de las aguas de riego*. Madrid. Obtenido de Servicio de Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Cárdenas, J. (2005). *CALIDAD DE AGUAS PARA ESTUDIANTES DE CIENCIAS AMBIENTALES*. Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. Nueva York, EE.UU.: McGraw Hill.
- COA, C. O. (2018). *REVISIÓN Y ACTUALIZACIÓN DE LA NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES : RECURSO AGUA*. Obtenido de <https://www.cip.org.ec/attachments/article/1579/PROPUESTA%20ANEXO%201.pdf>
- Colina, S. (1997). *Diseño y manejo de sistemas de drenaje*. Obtenido de Diseño y manejo de sistemas de drenaje: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/drenaje-drenes-abiertos-ecuacion-ernst/drenaje-drenes-abiertos-ecuacion-ernst.pdf>
- Consortio de Gobiernos Autónomos Provinciales del Ecuador. (2018). *Manual técnico para el diseño de sistemas de drenaje en suelos agrícolas del Ecuador*. Obtenido de <http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/12-MANUAL-TE%CC%81CNICO-PARA-EL-DISEN%CC%83O-DE-SISTEMAS-DE-DRENAJE-EN-SUELOS-AGRI%CC%81COLAS-DEL-ECUADOR-1.pdf>
- Corporación de desarrollo Territorial Estudios Urbano – Regionales, d. G. (2016). *Catastro Rural Multifinalitario de Pichincha*. Obtenido de <https://www.codurbam.com.ec/component/content/article/16-catastros-municipales/26-catastro-rural-multifinalitario-de-pichincha>
- Criollo, A., & Sotelo, E. (2017). *REDISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE OBRAS HIDRÁULICAS DE ALMACENAMIENTO Y REGULACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO SANTIAGUILLO – CUAMBO, PARROQUIA SALINAS, CANTÓN IBARRA, PROVINCIA DE IMBABURA*. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/11159>
- Felipe del Ángel, J. (2017). *Hidrología Superficial*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/3duardoJose/1-la-cuenca-hidrologica>
- Giles, R. (1969). *Mecánica de Fluidos*. Madrid.

- Gobierno Municipal de Rumiñahui. (2020). *Plan de Desarrollo Turístico Cantonal Rumiñahui*. Obtenido de https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/PLAN-DE-DESARROLLO-TUR%C3%8DSTICO-GAD-RUMI%C3%91AHUI_compressed.pdf
- Heredia, O. (Agosto de 2005). *El agua de Riego: Criterios de Interpretación. Efectos sobre el suelo y la producción*. Obtenido de El agua de Riego: Criterios de Interpretación. Efectos sobre el suelo y la producción: https://hortintl.cals.ncsu.edu/sites/default/files/articles/agua_riego_criterios_interpretacion.pdf
- Hidalgo, A. (Mayo de 2012). *Estudio Integral de Sistemas de Drenaje Agrícola Ejemplarizando en los Barrios Chaguana, El Calvario y Barrio Centro de la parroquia de Aláquez, Provincia de Cotopaxi*. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3875/1/103389.pdf>
- Ing. Washington Sandoval PhD. (2013). *Principios de la Hidráulica 2*. Quito-Ecuador.
- Kevern, R. (1989). *Alkalinity water, classification systems, volume Part 1*. The Michigan.
- Lemos, R. (1999). *Drenaje vial superficial y subterráneo*. Universidad de Cauca.
- Lloret, P. (2002). *Problemática de los recursos hídricos en el Ecuador. Sistemas y tendencias en el manejo de Cuencas Hidrográficas*. Quito: Foro de los Recursos Hídricos Documentación de discusión: CAMAREN.
- Luna, M. (2015). Levantamiento Topográfico Hacienda El Prado . Pichincha, Ecuador.
- Luthin, J. (1979). *Drenaje de tierras agrícolas : teoría y aplicaciones*. México: Limusa.
- Maldonado, S., & Rodríguez, F. (2012). *ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO DE DRENAJE VIAL CON APLICACIÓN DE PROGRAMAS COMPUTACIONALES*. Obtenido de [file:///C:/Users/Andrea%20Ch%C3%A1vez/Downloads/9.80.001299%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Andrea%20Ch%C3%A1vez/Downloads/9.80.001299%20(1).pdf)
- Mkthanna. (2020). *Análisis de agua*. Obtenido de <https://hannainst.com.mx/boletines/por-que-medir-la-alcalinidad-en-el-agua-potable/>
- MOP. (2002). *MOP - 001-F 2002*. Obtenido de MOP - 001-F 2002: <file:///C:/Users/Usuario%20Hp%20I7/Downloads/MOP-001-F-2002.pdf>
- Morales, Z. (2010). *Estudio de la contaminación de los drenajes H y T Municipio de Simón Bolívar*. Obtenido de Universidad del Oriente Barcelona.
- MTOP. (2003). *NORMAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE CARRETERAS - CAPÍTULO IX: DRENAJE VIAL*. Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas. Obtenido de Ministerio de Transporte y Obras Públicas.
- Natural Resources Conservation Service. (2004). *Hydrology National Engineering Handbook*. Obtenido de <https://www.wcc.nrcs.usda.gov/ftpref/wntsc/H&H/NEHhydrology/ch9.pdf>

- Noguera, B. (2020). *Ecuación de Bernoulli*. Obtenido de <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/10/ecuacion-de-bernoulli.html#Principio-de-bernoulli>
- Pedraza, R. (2007). *Drenaje Urbano*. Santa Fé: Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas.
- Perez, G. (s.f.). *Infiltración del agua*. Obtenido de https://www.ciclohidrologico.com/infiltracin_del_agua
- Quito, S. (2008). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE COSTOS PARA EL ÁREA*. Sangolquí.
- Rojas, R. (1984). *Drenaje Superficial en Tierras Agrícolas. Serie Riego y Drenaje*. Venezuela.
- Romero, A., Ronchaquirá, Y., & Gómez, L. (2017). *PROPUESTA DE DISEÑO DE UN SISTEMA DE DRENAJE VIAL PARA EL TRAMO DE CARRETERA TERCIARIA SAN JOAQUÍN ALTO DEL TIGRE EN EL MUNICIPIO DE LA MESA CUNDINAMARCA*. Obtenido de <https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/5551/1.%20Tesis%20de%20grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- S.A., E. (2014). *Sistemas de Drenaje*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/EPAV/epav-sistemas-de-drenaje>
- Salgado, A. (2001). *CAMINOS EN EL ECUADOR*. Obtenido de CAMINOS EN EL ECUADOR.
- Secretaría-del-Agua. (2019). *PLAN NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE 2019 - 2027*. Obtenido de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/2019/12/PNRD-2019-2027.pdf>
- Soil Conservation Service. (1972). *Hydrology*. Washington DC, USA.
- Stephen, C., & Mills, W. (1965). *Using the cipress creek formula to stimate runoff rates in the southern coastal plains and adjacent flatwoods lland resource areas*. USDA.
- Suárez, J. (2006). *Control de aguas superficiales y subterráneas*. Obtenido de Deslizamientos y Estabilidad de Taludes.
- Tanji, K. K. (1990). *Nature and extent of agricultural salinity*. Obtenido de <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/80d4684b-9ca2-4e96-9370-5ffb4e098b53/download>
- Terán, C., & Villacrés, O. (2006). *TRAZADO Y DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA VÍA EN EL TRAMO SECTOR ADMINISTRATIVO – PAILONES DEL IASA I*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/1819>
- Zapatta, A., & Gasselin, P. (2005). *El riego en el Ecuador: problemática, debate y políticas*. Quito: CESA CAMAREN.

Anexos