



1859

Universidad Nacional de Loja
Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN
PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y CULTIVOS
LOCALES EN UN PREDIO UBICADO EN LA PARROQUIA
SAN ANTONIO DE CUMBE, CANTÓN SARAGURO, LOJA**

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

Elvis Alexander Erreyes Armijos

Autor

Edison Ramiro Vásquez, Ph.D.

Director

Loja - Ecuador
2021

CERTIFICACIÓN DE TESIS

Edison Ramiro Vásquez
DIRECTOR DE TESIS

HAGO CONSTAR :

Que el proyecto de **Diseño de un sistema de riego por aspersión para la producción de forraje y cultivos locales en un predio ubicado en la parroquia San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, Loja**; de autoría de **Elvis Alexander Erreyes Armijos**, egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola, ha concluido con todas las actividades planificadas en el cronograma.

Loja, 17 de septiembre de 2021

 Firmado electrónicamente por:
**EDISON
RAMIRO**
Edison Ramiro Vásquez
DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

M. Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL CALIFICADOR DE LA TESIS

En Calidad de presidente del tribunal de Calificación de la Tesis Titulada: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y CULTIVOS LOCALES EN UN PREDIO UBICADO EN LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE CUMBE, CANTÓN SARAGURO, LOJA**, de autoría del señor egresado de la Carrera de Ingeniería Agrícola **Elvis Alexander Erreyes Armijos**, con cédula de identidad **1150355376**, se informa que la misma ha sido revisada e incorporadas todas las observaciones realizadas por el tribunal Calificador y luego de su revisión se ha procedido a la respectiva Calificación. Por lo tanto, autorizamos la versión final de la tesis y la entrega oficial para la sustentación pública.

Atentamente,



Firmado digitalmente por:
**PEDRO MANUEL
MESIAS GUAYA
PAUTA**

M.Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DIEGO
FERNANDO
CHAMBA
ZARAGOCIN

Firmado digitalmente
por DIEGO FERNANDO
CHAMBA ZARAGOCIN
Fecha: 2021.12.02
07:04:18 -05'00'

Ph.D. Diego Fernando Chamba Zaragocin
VOCAL DEL TRIBUNAL DE GRADO



Firmado digitalmente por:
**JIMMY JAVIER
CORDERO
JIMENEZ**

M.Sc. Jimmy Javier Cordero Jiménez
VOCAL DEL TRIBUNAL DE GRADO

c.c. Archivo de teletrabajo

AUTORÍA

Yo, Elvis Alexander Erreyes Armijos declaro ser autor del trabajo de tesis DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y CULTIVOS LOCALES EN UN PREDIO UBICADO EN LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE CUMBE, CANTÓN SARAGURO, LOJA; eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos o acciones legales, por el contenido de la misma.

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

Firma:

Autor: Elvis Alexander Erreyes Armijos

Cédula: 1150355376

Fecha: Loja, 3 de diciembre de 2021

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS

Yo, Elvis Alexander Erreyes Armijos declaro ser autor de la tesis: DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y CULTIVOS LOCALES EN UN PREDIO UBICADO EN LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE CUMBE, CANTÓN SARAGURO, LOJA; como requisito para optar el grado de Ingeniero Agrícola, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional: Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

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

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los 3 días del mes de diciembre de 2021, firma el autor.

Firma:

Autor: Elvis Alexander Erreyes Armijos

Número de cédula: 1150355376

Dirección: Saraguro, Loja-Ecuador

Correo electrónico: elvis.erreyes@unl.edu.ec

Celular: 0991070020

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis: Dr. Édison Ramiro Vásquez

Tribunal de Grado:

M.Sc. Pedro Manuel Guaya Pauta (Presidente)

Ph.D. Diego Fernando Chamba Zaragocin (Vocal)

M.Sc. Jimmy Javier Cordero Jiménez (Vocal)

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme permitido culminar esta etapa académica, a mi madre y hermanos que supieron darme su apoyo incondicional durante todo el proceso de formación.

A la Universidad Nacional de Loja, a toda la planta docente y administrativos de la Carrera de Ingeniería Agrícola, que con paciencia, supieron otorgarme sus conocimientos que contribuyeron a mi formación profesional.

A mi director de tesis, Dr. Edison Ramiro Vásquez, que con muy buena disposición y entusiasmo me brindó la orientación y un asesoramiento constante para lograr culminar con éxito el presente trabajo.

Mi agradecimiento también va para los ingenieros: Pedro Guaya y Jorge Jaramillo por su voluntariosa ayuda, así como para mi compañero y amigo Daniel Guamán por colaborar con sus copiosos conocimientos y contribuir en el desarrollo del presente trabajo.

Finalmente, agradezco a mis familiares, amigos por su apoyo, amistad y confianza y a todas las personas que contribuyeron a que pueda hacer realidad este sueño.

DEDICATORIA

Este trabajo dedico principalmente a Dios, por bendecirme, con salud y vida, guiarme y protegerme en todo momento.

Con, amor, respeto y admiración, dedico esta tesis a mi amada madrecita, por su valentía y sacrificio, de igual forma a mis queridos hermanos: Patricio, Martha, Eddison, Deysi, Leodán y Jhoe que siempre estuvieron presentes dándome ánimos y compartiendo momentos de felicidad.

A mis tíos, Juan, Nelly y José, por sus consejos y colaboración porque creyeron en mí y son parte fundamental de mi vida.

Elvis Alexander

ÍDICE GENERAL

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN DE TESIS	ii
CERTIFICACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iii
AUTORIA.....	iv
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
TÍTULO.....	1
RESÚMEN.....	2
SUMMARY.....	3
1. INTRODUCCIÓN	4
Objetivos.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos específicos	5
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Producción agrícola	6
2.2. Agricultura bajo riego	6
2.3. El riego en el Ecuador.....	7
2.4. El sistema de riego	7
2.4.1. Métodos de riego.	8
2.4.2. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión.	8
2.4.3. Componentes de un sistema de riego por aspersión.	9
2.4.4. Ventajas y desventajas del riego por aspersión.	9
2.5. El suelo.....	10
2.5.1. Propiedades físicas.....	10
2.5.2. Propiedades químicas.	10
2.5.3. Características biológicas.	11
2.5.4. Fases del suelo.....	11
2.6. Características físicas del suelo relacionadas con el riego.....	11
2.6.1. Textura.	12
2.6.2. Densidad aparente.....	12
2.6.3. Densidad real.....	13
2.6.4. Profundidad.	13

2.7. Clases de agua en el suelo.....	14
2.7.1. Agua gravitacional o de drenaje.....	14
2.7.2. Agua capilar o agua disponible.....	14
2.7.3. Agua higroscópica o no disponible.....	14
2.8. Contenido de agua en el suelo.....	14
2.9. Energía del agua en el suelo.....	15
2.9.1. Curva de retención del agua del suelo.....	16
2.9.2. Aplicaciones de la curva de retención de agua del suelo.....	16
2.9.3. Niveles de humedad del suelo.....	17
2.9.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	17
2.10. Infiltración del agua en el suelo.....	18
2.11. Calidad del agua para Riego.....	19
2.11.1. La dureza del agua.....	19
2.11.2. Salinidad del agua.....	20
2.11.3. pH.....	20
2.11.4. Alcalinidad del agua.....	20
2.11.5. Relación entre sodio, calcio y magnesio (RAS).....	20
2.11.6. Carbonato de sodio residual.....	21
2.12. Diseño Agronómico en el riego.....	22
2.12.1. Necesidades de agua del cultivo.....	22
2.12.2. Evapotranspiración (ET).....	22
2.12.3. Métodos para determinar la evapotranspiración de referencia.....	22
2.12.4. Coeficiente de cultivo (Kc).....	24
2.12.5. Evapotranspiración del cultivo (ETc).....	24
2.12.6. Parámetros de riego.....	24
2.13. Diseño hidráulico.....	27
2.13.1. Pérdidas de carga por fricción longitudinal.....	27
2.14. Importancia del riego en el cultivo de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	32
2.15. Importancia del riego en pasturas.....	33
2.16. Investigaciones sobre diseño de riego por aspersión.....	34
3. Materiales y Métodos.....	36
3.1. Ubicación del predio “Buenos Aires”.....	36
3.2. Materiales.....	37
3.3. Metodología.....	37
3.3.1. Metodología para el primer objetivo.....	37
3.3.2. Metodología para el segundo objetivo.....	37
3.3.3. Diseño agronómico.....	40

3.3.4. Diseño hidráulico.	47
3.3.5. Calidad del agua para riego.	49
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
4.1. Características hidrofísicas del suelo de la finca “Buenos Aires”	50
4.1.1. Descripción del perfil del suelo.....	50
4.1.2. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.	52
4.1.3. Propiedades físicas del suelo.....	52
4.2. Diseño del sistema de riego por aspersión.....	53
4.2.1. Caudal de la fuente de abastecimiento.	53
4.2.2. Superficie a regar.....	53
4.2.3. Curva de retención de humedad del suelo y evaluación de las condiciones físicas del suelo.	55
4.2.4. Velocidad de infiltración del agua en el suelo.....	56
4.2.5. Diseño agronómico.	56
4.2.6. Diseño hidráulico.	65
4.2.7. Calidad del agua para riego.	67
5. CONCLUSIONES	73
6. RECOMENDACIONES	74
7. BIBLIOGRAFÍA	75
8. ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1 Densidad aparente en función de la textura.	13
Tabla 2 Coeficiente para perdidas en accesorios.	29
Tabla 3 Descripción del perfil del suelo de la finca “Buenos Aires”.	50
Tabla 4 Descripción de los horizontes y capas del suelo de la finca “Buenos Aires”.	51
Tabla 5 Evapotranspiración de referencia.	57
Tabla 6 Evapotranspiración del cultivo de papa.	58
Tabla 7 Evapotranspiración del cultivo de pasto.	59
Tabla 8 Índice de humedad.	59
Tabla 9 Requerimientos hídricos de los cultivos en (mm/día).	60
Tabla 10 Pérdida de carga en la red de tubería, con el método de Hazen–Williams.	65
Tabla 11 Presupuesto del diseño para el sistema de riego por aspersion en la finca Buenos Aires.	69
Tabla 12 Presupuesto de materiales y accesorios para instalación del Sistema de Riego para una 1 ha.	70
Tabla 13 Insumos para la producción de papa en 0.5 ha.	71
Tabla 14 Mano de obra para la producción de papa.	71
Tabla 15 Utilidad para la producción anual de papa.	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1 Triángulo Textural.	12
Figura 2 Curvas de retención del agua en el suelo para suelos arenosos, arcillosos y francos.	16
Figura 3 Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.	18
Figura 4 Ubicación del predio “Buenos Aires”	36
Figura 5 Relación de la clase textural y la proporción de la fracción de suelo.	52
Figura 6 Foto panorámica del predio.	53
Figura 7 Superficie del área de riego.	53
Figura 8 Curva de retención de humedad del suelo.	55
Figura 9 Coeficientes del cultivo de papa (Kc).....	57
Figura 10 Coeficientes del cultivo de pasto (Kc).....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1 Levantamiento topográfico.	82
Anexo 2 Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.	83
Anexo 3 Medición de la velocidad de infiltración.	84
Anexo 4 Datos de las pruebas de infiltración.....	84
Anexo 5 Velocidad de infiltración en el predio.	85
Anexo 6 Evapotranspiración de referencia, según el método de Hargreaves.....	86
Anexo 7 Datos de las fases fenológicas y Kc,para los cultivos de papa y pasto según la FAO (2006).	86
Anexo 8 Selección del Aspensor FAO (2006).	87
Anexo 9 Resultados de análisis de agua.....	88
Anexo 10 Plano de levantamiento topográfico.....	89
Anexo 11 Plano del diseño del sistema de riego por aspersión.....	91
Anexo 12 Diámetro húmedo del sistema de riego por aspersión.....	93
Anexo 13 Planimetría y perfil de la línea de conducción.....	95
Anexo 14 Detalles constructivos del sistema de riego por aspersión.....	97

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN PARA LA
PRODUCCIÓN DE FORRAJE Y CULTIVOS LOCALES EN UN PREDIO UBICADO
EN LA PARROQUIA SAN ANTONIO DE CUMBE, CANTÓN SARAGURO, LOJA.

RESUMEN

En la finca “Buenos Aires” de la parroquia San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, provincia de Loja, se realizó el diseño de un sistema de riego por aspersión en 0,5 ha para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y 0,5 ha en el cultivo de pasto (*Cynodon dactylon*); con el objetivo de aportar al aprovechamiento eficiente del agua de riego y del suelo mediante el diseño de un sistema de riego presurizado; se realizó la determinación de las variables hidrofísicas del suelo, con ayuda de cilindros Koppecky de 100 cm³, se tomaron muestras no disturbadas, y muestras alteradas a 40 cm de profundidad. En el diseño agronómico, se determinaron las necesidades de riego de los dos cultivos; para la *ET_o* se recurrió al método de Hargreaves como alternativa cuando se carece de información, el método utiliza únicamente datos de temperatura y radiación solar de la estación meteorológica de Saraguro; a partir de los datos obtenidos por la FAO (2006) se graficó la curvas del *K_c* para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo. Con base a los resultados del análisis de las propiedades físicas del suelo, se determinó la lámina de riego para el cultivo de papa en 27,32 mm y para el pasto de 28,68 mm, valores que se los puede considerar similares; por tanto, se estableció una frecuencia de riego de siete días; y, el tiempo de riego de 6 horas para los dos cultivos. Para el diseño hidráulico, se estableció la red hidráulica principal, secundaria y lateral, con diámetros nominales de 3”, 3” y 1 ½”, respectivamente, mediante la fórmula de Hazen-Williams; así mismo, se calculó el coeficiente de Christiansen para las tuberías con multisalidas. El agua para el riego se capta de la quebrada Chariguiña, con una dureza de 1,77 mgCaCO₃/L, clasificándose como blanda, salinidad de 0,017 dS/m, pH de 7,39, alcalinidad de 25 mg/L, relación de absorción del sodio (RAS) de 0,52, carbonato de sodio residual (CSR) de <1,25 meq/L y un valor de sólidos totales de 53 mg/L. Dado que los parámetros que definen la calidad del agua para riego se encuentran entre los rangos aceptables, se concluye que el agua de la finca tiene condiciones óptimas para favorecer el crecimiento de los cultivos, sin causar daños al suelo, así como garantizar el correcto funcionamiento del sistema de riego. La instalación de 1,00 ha de riego por aspersión tiene un costo de \$ 3 705,14; inversión que se espera recuperar en seis meses.

Palabras claves: Riego por aspersión, diseño, coeficiente de Christiansen, calidad.

SUMMARY

In the "Buenos Aires" farm of the San Antonio de Cumbe parish, Saraguro canton, Loja province, a sprinkler irrigation system was designed in 0.5 ha for the cultivation of potato (*Solanum tuberosum*) and 0.5 ha in grass cultivation (*Cynodon dactylon*); with the aim of contributing to the efficient use of irrigation water and soil through the design of a pressurized irrigation system; The determination of the hydrophysical variables of the soil was carried out, with the help of Koppecky cylinders of 100 cm³, undisturbed samples were taken, and samples altered at 40 cm depth. In the agronomic design, the irrigation needs of the two crops were determined; For ETo, the Hargreaves method was used as an alternative when information is lacking. The method uses only temperature and solar radiation data from the Saraguro meteorological station; From the data obtained by FAO (2006), the Kc curves were plotted to calculate the evapotranspiration of the crop. Based on the results of the analysis of the physical properties of the soil, the irrigation sheet for the potato crop was determined at 27.32 mm and for the grass 28.68 mm, values that can be considered equal; therefore, an irrigation frequency of seven days was established; and, the irrigation time of 6 hours for the two crops. For the hydraulic design, the main, secondary and lateral hydraulic networks were established, with nominal diameters of 3", 3" and 1 ½", respectively, using the Hazen-Williams formula; Likewise, the Christiansen coefficient was calculated for pipes with multi-outlets. The water for irrigation is collected from the Chariguiña creek, with a hardness of 1.77 mgCaCO₃/L, classified as soft, salinity of 0.017 dS/m, pH of 7.39, alkalinity of 25 mg/L, sodium absorption ratio (SAR) of 0.52, residual sodium carbonate (CSR) of <1.25 meq/L and a total solids value of 53 mg/L. Given that the parameters that define the quality of the water for irrigation are among the acceptable ranges, it is concluded that the farm water has optimal conditions to favor the growth of the crops, without causing damage to the soil, as well as guaranteeing the correct operation of the irrigation system. The installation of 1.00 ha of sprinkler irrigation has a cost of \$ 3 705,14; investment expected to be recovered in six months.

Keywords: Sprinkler irrigation, design, Christiansen's coefficient, quality.

1. INTRODUCCIÓN

La superficie de regadío en el mundo es de 325,1 millones de hectáreas, lo que representa el 20 % de la superficie total de tierra cultivada, de la cual se obtiene el 40 % de los alimentos producidos en el mundo. Adicionalmente, se estima que el 70 % del agua es manejada por la agricultura de regadío a nivel mundial; de los cuales el 94 % corresponde a riego por gravedad y 6 % a riego por aspersión o goteo; la eficiencia del riego promedio, se estima en 56 % (Arroyo, 2017).

A nivel latinoamericano, la agricultura también se presenta como el más importante consumidor de agua, el promedio es similar al mundial, con variaciones entre países y regiones; sin embargo, en la última década, el ritmo de expansión del riego se ha reducido considerablemente como consecuencia de la situación financiera de la región, el elevado costo de la construcción de presas y sistemas de regadío y la necesidad de asignar los recursos a la consolidación de otros proyectos. Es también en esta década, cuando se materializan enormes problemas ambientales asociados a la mala construcción y gestión de los sistemas de riego (EUROSUR, 2015).

En el Ecuador hay infraestructura instalada para regar una superficie de aproximadamente 1 528 474 ha, incluyendo a sistemas de riego en operación y sistemas nuevos, tanto públicos, comunitarios y privados; sin embargo, el área efectivamente regada es mucho menor, con 977 074 ha (SECRETARÍA DEL AGUA, 2019, p. 35).

En la provincia de Loja según Terán (2014), únicamente el 22 % de la superficie con uso agropecuario dispone de riego, mientras que el 78 % carece del mismo. Por el contrario, siendo Saraguro un cantón con vocación agropecuaria, resulta importante que la oferta hídrica se traduzca en disponibilidad de riego, para mantener cierto nivel de regularidad de los ciclos productivos; de acuerdo con la información recolectada, al año 2008 se encontraban 5 704 ha regadas por cinco sistemas de riego, mientras que en estudio existían 4 946 ha, con lo cual se alcanzaría una superficie regada de 10 649,99 ha (PDYOT, 2015).

El sector de “Buenos Aires” en la parroquia San Antonio de Cumbe del cantón Saraguro, se caracteriza por desarrollar de manera preferente la actividad ganadera y en menor proporción los cultivos especialmente de papa, maíz, melloco, entre otros. En el caso de la actividad ganadera la producción de forrajes depende en buena parte de las precipitaciones durante la época lluviosa que va de diciembre a mayo. En estas condiciones, al norte del sector “Buenos Aires” se ha logrado implementar algunos sistemas de riego que funcionan energizados por bombeo; no obstante, presenta inconvenientes de orden técnico puesto que, incluso la selección y adquisición de las bombas se hace sin ningún criterio técnico. En las

condiciones indicadas los resultados alcanzados distan mucho de satisfacer las expectativas de los productores; la dificultad para la aplicación de riego limita los rendimientos de las actividades señaladas.

En estas consideraciones, se propuso el diseño de un sistema de riego por aspersión para la producción de forraje y cultivos locales en un predio ubicado en la parroquia San Antonio de Cumbe, cantón Saraguro, Loja.

Objetivos

Objetivo general

- Aportar al aprovechamiento eficiente del agua de riego y del suelo en la finca “Buenos Aires” de la parroquia San Antonio de Cumbe del cantón, Saraguro, Provincia de Loja.

Objetivos específicos

- Describir las características hidrofísicas del suelo de la finca “Buenos Aires” para el diseño de un sistema de riego por aspersión.
- Diseñar un sistema de riego por aspersión que garantice la productividad agrícola de la finca “Buenos Aires”.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Producción agrícola

Se define como el aprovechamiento que el hombre hace del recurso suelo, para producir diferentes tipos de alimentos tales como: cereales y vegetales, dicho de otra manera, la producción agrícola es el resultado de la siembra en el campo y posterior cosecha con el fin de obtener bienes comestibles para la alimentación humana, aunque también puede ir destinada a la industrialización logrando un valor agregado. La producción agrícola se caracteriza por desarrollarse en los campos es decir fuera de las grandes ciudades y pertenece al sector primario de la economía (Westreicher, 2020).

El cultivo, es la práctica de plantar semillas en el suelo para obtener buenos y mejores rendimientos, la necesidad del ser humano de incorporar alimentos a su dieta, no solo para su alimentación sino para la crianza de animales mayores y menores, ha permitido el desarrollo de la agricultura y la industria (Román, 2003).

Los cultivos pueden ser para alimento del ser humano y animales, para forrajes, textiles, oleaginosas, ornamentales, industriales; con respecto a los OGM (organismos genéticamente modificados), tipo de cultivo que se caracteriza por presentar menos enfermedades y más productividad llegando a requerir menos cantidad de fertilizantes para su desarrollo y posterior producción. Sin embargo, todavía está en duda sus beneficios en las personas, aunque los beneficios de los productos orgánicos para la salud humana no se pueden negar (Sánchez-Ledezma y Mesen Villalobos, 2015).

Los pastos, son un tipo de cultivo mayoritariamente de ciclo largo; se pueden ofrecer al animal directamente en el campo (potreros o pastizales) o pueden ser pastos de corte, es decir, se corta el follaje, se seca y se empaqueta (heno) o se somete a un proceso de fermentación (ensilaje), para alimentar a los animales en épocas donde es difícil tener pasto en el potrero (EARTH OBSERVING SISTEM, 2020).

2.2. Agricultura bajo riego

En los últimos años la agricultura bajo riego, ha sido la fuente de producción de alimentos más importante; investigaciones recientes advierten que puede duplicarse los rendimientos de los cultivos con regadío, en comparación con la modalidad de secano; incluso, la agricultura bajo riego con pocos insumos es más productiva que la agricultura de secano con altos insumos; esto lleva a entender que el agua por si sola es capaz de hacer crecer plantas y producir alimentos (Demin, 2014).

La FAO (2019) afirma, “la agricultura de secano se practica en el 83 % de las tierras cultivadas y produce más del 60 % de los alimentos del mundo”. Incluso, en algunas regiones tropicales la agricultura de secano supera el 95 % de las tierras cultivadas, porque en estas

zonas el riego convencional puede ser muy costoso y apenas justificable en términos económicos.

2.3. El riego en el Ecuador

La demanda hídrica está relacionada con las actividades agrícolas dentro del campo agropecuario las mismas que se pueden distinguir en dos categorías: riego para la producción agropecuaria de exportación, en el que están inmersos los espacios verdes urbanos; y riego que garantiza la soberanía alimentaria, incluye actividades pecuarias, pastizales y acuicultura de agua dulce (Gallardo, 2007).

La disponibilidad del agua es uno de los temas preocupantes para quienes se encargan de la disponibilidad de este recurso, pues cada vez existe mayor demanda; pero a la vez, el agua escasea tanto en cantidad como en calidad; de igual forma, la oferta hídrica no resulta en una simple fórmula; puesto que el agua debe estar disponible no solo para cubrir las necesidades humanas, sino más allá de ello; es necesario asegurar que los sistemas naturales puedan mantenerse para garantizar su sostenibilidad (SECRETARÍA DEL AGUA, 2019).

Según la FAO (2019), existen varias razones por las cuales el riego convencional no puede continuar creciendo a un ritmo tan acelerado como lo ha venido haciendo en las últimas décadas; entre las principales razones se puede decir que el costo real del regadío no se conoce. Los costes ambientales de las zonas regables convencionales son también altos y no repercuten en los precios de los alimentos, y a menudo el riego intensivo produce anegamiento y salinización. En la actualidad, alrededor del 30 % de las tierras regadas están siendo severamente afectadas, por lo que anualmente, el área regada se está reduciendo aproximadamente en el 1-2 % a causa de la salinización de las tierras.

2.4. El sistema de riego

El riego es una de las prácticas agrícolas más antiguas utilizadas por el hombre para producir alimentos. Al principio eran inundados los terrenos más planos; luego se construyeron terrazas que también se regaron por inundación, con métodos que variaron en eficiencia de acuerdo con la habilidad, ingenio y necesidad del hombre para economizar agua (Cardozo, 2014).

Con el fin de aumentar la producción de alimentos, el hombre se vio forzado a variar el curso de pequeñas corrientes de agua, hacer diques de contención para almacenar y regular sus cursos, nivelar las superficies de terreno que querían regar, elevar el agua desde el subsuelo hacia la superficie y poner en práctica varias técnicas sencillas, que son los rudimentos de las técnicas modernas de riego y drenaje; eso permitió disponer de agua para realizar una agricultura menos riesgosa y más intensiva (Valencia, 2015).

2.4.1. Métodos de riego.

En la actualidad los principales métodos de riego que se distinguen son los siguientes:

Riego por superficie Es la distribución del agua por acción de la gravedad y su eficiencia de aprovechamiento del agua es relativamente bajo debido a que a menudo sucede percolación profunda en el inicio del surco y escorrentía superficial al final del mismo. Este método es de bajo costo debido a que no requiere un consumo de energía. Existen varios tipos de riego por superficie de los cuales los principales son: surcos, melgas, pozas, riego por desbordamientos, entre otros (Cadena, 2016).

Riego presurizado. Este sistema está en función de la presión requerida por los emisores de aplicación de agua (aspersores, microaspersores o goteros). Esta presión puede ser dotada por el desnivel topográfico o a través de una motobomba. Se utiliza tuberías hasta el cultivo para el traslado del agua, evitando pérdidas de infiltración en la conducción y distribución. De esta forma se distribuye en forma de gotas (goteo) o de lluvia (microaspersión y aspersión), presentado altas eficiencias de aplicación (SIRHC, 2015).

Sistema de riego por aspersión. Es el método por el cual las plantas reciben agua en forma de lluvia artificial, dicho de otra manera, es la aplicación del agua sobre la superficie en forma de lluvia, la cual se infiltra en el suelo para la disposición de los cultivos. Se fundamenta en dos instrumentos principales como son los cañones de riego y los aspersores rotativos, a la hora de aplicar este sistema se tiene que tomar en cuenta los factores que pueden influir para que este no funcione tales como la pluviometría, la presión disponible, la cantidad de agua entre otras. Un diseño adecuado de un sistema de riego por aspersión no produce escorrentía o erosión del suelo (WIKIWATER, 2014).

La superficie de riego por aspersión a nivel mundial está cerca del 10 %, siendo más elevado en países desarrollados, con altos costes de mano de obra y bajos costos de energía. Las innovaciones mejoran el funcionamiento del riego y favorecen la adaptación de la aspersión a todos los tipos de suelo, topografía, cultivos y climas. Actualmente, para este sistema de riego se usan tuberías que se mueven manualmente; no obstante, la carencia de la mano de obra ha aumentado cada vez más la automatización del mismo, consiste en el uso de válvulas volumétricas que controlan el volumen de agua deseado y cierran instintivamente después de su suministro (Pereira, 2010).

2.4.2. Clasificación de los sistemas de riego por aspersión.

Fernández et al. (2010), clasifican los sistemas de aspersión en dos grupos: sistemas estacionarios y sistemas de desplazamiento continuo.

Sistemas estacionarios. Son aquellos que permanecen fijos mientras riegan; a su vez se clasifican en móviles, semifijos y fijos: en los **móviles**, todos los elementos de la instalación son móviles: tuberías primarias, secundarias y terciarias, si las hubiera, ramales de aspersión, porta-aspersores y aspersores; **semifijos**, normalmente tienen fijos el equipo de bombeo y la red de tuberías principales, de existir tuberías secundarias y terciarias, suelen ir enterradas.

Sistemas de desplazamiento continuo. Son aquellos sistemas que se encuentran en movimiento mientras aplican el agua. Los más usuales son los pivotes, los laterales de avance frontal y los cañones enrolladores.

2.4.3. Componentes de un sistema de riego por aspersión.

De acuerdo con Oviedo y Liotta (2013), los componentes básicos para un sistema de riego por aspersión son:

- Fuente de abastecimiento de agua (toma de pozo directo o desde un reservorio).
- Cabezal de riego: compuesto por la bomba, filtros, unidad de fertirriego, válvulas y aparatos de control y medición.
- Tuberías de conducción (primaria, secundaria y/o terciaria).
- Válvulas de campo.

2.4.4. Ventajas y desventajas del riego por aspersión.

Entre las ventajas del riego por aspersión se anotan: disminuye el efecto de las heladas, se distribuye de una forma equitativa y controlada sobre el área requerida y se evita el daño a las raíces; de ninguna manera afecta al cultivo, pues la presión del agua es eliminada mediante ese sistema; el área a regar puede ser duplicada; se puede dosificar el agua con una buena precisión; el ahorro de agua es bastante significativo, pues con otros sistemas se utiliza más cantidad de agua como por ejemplo con el riego por inundación o por surcos; el agua se puede administrar con la mayor exactitud posible (Huber, 2015).

También se debe mencionar que la diferencia entre el sistema de riego por gravedad y por aspersión en cuanto a la adaptación al terreno es que el riego por gravedad se adapta mejor en caso de terrenos planos o semi planos. En áreas altas y con más pendiente, las dificultades para conducir y distribuir adecuadamente el agua son muy grandes. Además, los riesgos de erosión son elevados mientras tanto que el riego por aspersión se adapta mejor a terrenos planos o semi planos. A medida que aumenta la pendiente, se incrementa el riesgo de erosión debido al desprendimiento de partículas de suelo que causa el impacto de las gotas. Además, a medida que aumenta la pendiente, la distribución del agua es cada vez más desigual, formando un círculo de menor radio del lado superior del aspersor, donde se aplica más agua y con más presión, esto sin dejar de lado la eficiencia de los sistemas que para el

riego por gravedad se encuentra entre el 40 – 65% y el riego por aspersión del 80 – 85% marcándose una diferencia significativa (González, 2018).

Así también hay que estimar que el control del agua en el riego por gravedad aunque es posible controlar la cantidad de agua aplicada a través del uso de compuertas o sifones, es muy difícil saber exactamente qué cantidad de agua se está aplicando en cada punto del terreno, por el contrario en el riego por aspersión se puede controlar bien la cantidad de agua aplicada a través de pluviómetros sencillos o por la relación caudal/tiempo de los aspersores. Sin embargo, si la presión en los aspersores es baja o desigual entre ellos, la distribución del agua también es desigual dentro del perímetro regado (FAO, s. f.).

2.5. El suelo

Es la parte superficial biológicamente activa de la corteza terrestre que se forma principalmente por la desintegración de las rocas (ígneas sedimentarias y metamórficas) también contribuyen para su formación especies vegetales y animales que se descomponen sobre este. De igual forma el suelo sirve como medio para el desarrollo de las raíces y sostén de las plantas, del cual pueden extraer agua y nutrientes indispensables para el desarrollo de las mismas (Yaguana, 2019, p. 5).

2.5.1. Propiedades físicas.

De esta propiedad depende en gran medida el buen desarrollo de las plantas, sin embargo, pocas veces son consideradas antes o después de iniciar un cultivo o plantación, generalmente sólo se consideran las características químicas. En realidad, para que exista un medio óptimo para el crecimiento de las plantas debe darse una interacción dinámica entre las características físicas químicas y biológicas del suelo (Carvajal, 2017).

FAO (2020), clasifica las propiedades físicas de los suelos de la siguiente manera: estructura, textura, color, porosidad, densidad, profundidad, características del agua en el suelo, disponibilidad del agua en el suelo y movimiento del agua en el suelo.

2.5.2. Propiedades químicas.

Las propiedades químicas se relacionan con la calidad y disponibilidad de agua y nutrimentos para las plantas, entre ellas, cabe resaltar: pH, materia orgánica, conductividad eléctrica, entre otras (Carvajal, 2017).

Al igual que en la propiedades físicas FAO, (2020) determina como importantes las siguientes propiedades químicas para los suelos: capacidad de intercambio catiónico -CIC, pH del suelo, porcentaje de saturación de bases, nutrientes para las plantas, carbono orgánico del suelo, salinización, y alcalinización del suelo y nitrógeno disponible en el suelo.

2.5.3. Características biológicas.

Las características biológicas del suelo cumplen un papel importante dentro de la composición de los suelos y sus características; dentro de las características biológicas se encuentran inmersos los micro-organismos del suelo, responsables de la descomposición de la materia orgánica provenientes de plantas y animales en descomposición. También se ocupa del estudio de los organismos que de una u otra forma, actúan sobre el suelo modificando la composición, estructura y funcionamiento (Carvajal, 2017).

2.5.4. Fases del suelo.

El suelo constituye un sistema complejo y heterogéneo compuesto por la mezcla de diversos materiales sólidos, líquidos y gaseosos que forman las tres diferentes fases que lo integran:

La fase sólida está constituida por minerales y también materia orgánica, los minerales pueden ser primarios o secundarios al igual que la MO que se encuentra formando parte del suelo y puede ser: viva y no viva, siendo responsable de la retención de humedad del suelo y la regulación del pH, siendo estos los procesos más importantes de la misma (Herrera, 2010).

La fase líquida está constituida por el agua que rellena los vacíos entre los fragmentos sólidos, tales como: poros, grietas y galerías, cuya formación se da por el arreglo estructural del suelo; su función es llevar y disolver elementos químicos disueltos que dependen de la composición del suelo. Dentro del agua que contiene un suelo se encuentran diversos nutrientes que le proveen su fertilidad y que son responsables de nutrir los vegetales (COURSE HERO, 2016).

La fase gaseosa se constituye por el aire, que se introduce en el suelo proveniente de la atmósfera y circula en él; es importante señalar que el porcentaje de aire que se encuentra en el suelo, es casi similar al aire atmosférico; el gas más importante que se encuentra es el dióxido de carbono como producto metabólico de la respiración del suelo (Herrera, 2010).

2.6. Características físicas del suelo relacionadas con el riego

El suelo se encuentra formado por rocas que se degradan por agentes atmosféricos mediante el proceso de la meteorización y otras que se forman a partir de restos vegetales y animales, a simple vista puede parecer que las partículas minerales y la materia orgánica se juntan sin dejar espacios entre ellos, pero en realidad existen espacios llamados poros (Carrazón, 2007).

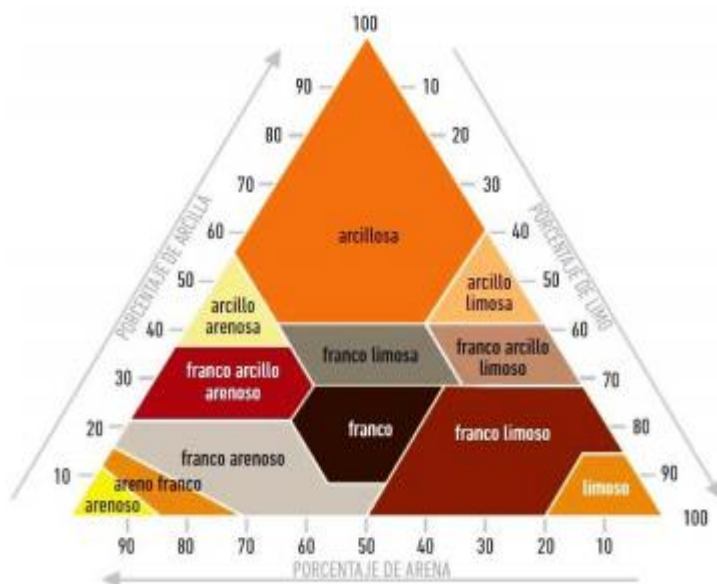
2.6.1. Textura.

La textura es una propiedad importante del suelo en el riego, drenaje y en el cálculo de la lámina de riego y se refiere a los porcentajes de arcilla, limo y arenas de menos de 2 mm de diámetro que se encuentran presentes. Cabe resaltar, para determinar la textura se han propuesto muchas escalas granulométricas, pero las más usadas son: el sistema usado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y el Sistema Internacional, propuesto por Atterberg (Cisneros, 2003).

Además, las posibles combinaciones de las texturas o tipos granulométricos del suelo se examinan mediante laboratorio y para su análisis se utiliza el triángulo textural (Figura 1).

Figura 1

Triángulo Textural.



Fuente: Cisneros, (2003)

2.6.2. Densidad aparente.

Es una propiedad elemental y fundamental de los materiales, relacionada con la naturaleza de sus constituyentes y la existencia de espacios vacíos entre ellos. En riego es importante conocer su valor para determinar la capacidad de almacenaje de agua en el suelo, varía por los cambios que se producen como disminución de materia orgánica (Carrazón, 2007).

$$Da = \frac{P_{ss}}{V}$$

Donde:

D_a Densidad aparente ($g\ cm^{-3}$)

P_{ss} Peso del suelo seco (g)

V Volumen total (cm^3)

Los valores de la densidad aparente varían en función de las propiedades de los suelos fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica y de prácticas culturales implementadas por los agricultores. Sin embargo, como valores medios se tienen los siguientes:

Tabla 1

Densidad aparente en función de la textura.

Textura	D_a ($g\ cm^{-3}$)
Arena	1,4 –1,6
Francos	1,3 –1,4
Arcillas	1,1 –1,3
Suelos orgánicos	0,7 –1,1

Fuente: (Cisneros, 2003)

2.6.3. Densidad real.

Según Cisneros (2003); se expresa como la relación que existe entre el peso del suelo, en seco (P_{ss}) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (V_p) y se expresa en g/cm^3 y se puede considerar casi constante debido a que varía de 2,60 a 2,75 $g\ cm^{-3}$.

$$D_r = \frac{P_{ss}}{V_p}$$

Donde:

D_r Densidad real ($g\ cm^{-3}$)

P_{ss} Peso del suelo seco (g)

V_p Volumen de las partículas (cm^3)

2.6.4. Profundidad.

La profundidad o espesor del suelo es el espacio en el que las raíces de las plantas pueden penetrar sin mayores obstáculos para conseguir el agua y los nutrientes indispensables. En efecto, de la profundidad depende la facilidad o dificultad para labrar o nivelar los suelos según sea el caso; la profundidad efectiva en suelos profundos es de 1 m o más, en moderadamente profundos de 0,60 m y en suelos poco profundos menos a 0,25 m (Cadena, 2016).

2.7. Clases de agua en el suelo

Cadena (2016) menciona, al suministrar agua a un suelo seco ésta se distribuye alrededor de las partículas y queda retenida a ellas por las fuerzas de adhesión y de cohesión; desplaza al aire de los poros y estos se llenan de agua, produciéndose la saturación del suelo o la máxima capacidad de retención.

2.7.1. Agua gravitacional o de drenaje.

Según Cadena (2016) es el agua que se deposita en los poros grandes y luego por gravedad se filtra fácilmente, explicado de otra forma es aquella que momentáneamente llena los grandes poros del suelo, pero que es arrastrada por la acción de la gravedad; por su parte, Angella y Frías (2016) mencionan que es la fracción del agua que ocupa los macroporos del suelo, saturándolos o no. Esta fracción del agua en el suelo se mueve impulsada por la fuerza de la gravedad, la que tiende a desplazarla hacia abajo, además esta fracción del agua del suelo puede temporalmente ser utilizada por las plantas mientras se encuentre en el estrato del crecimiento de raíces de las plantas.

2.7.2. Agua capilar o agua disponible.

Es el agua retenida en los poros desde abajo hacia arriba por fuerzas de adhesión y cohesión venciendo la acción de la gravedad; de esta una parte es más móvil y disponible para las plantas y otra está unida con más fuerza a las partículas del suelo (Cadena, 2016)

2.7.3. Agua higroscópica o no disponible.

Es la fracción del agua absorbida directamente de la humedad del aire; se dispone sobre las partículas del terreno en una capa de 15 a 20 moléculas de espesor y se adhiere a la partícula por adhesión superficial. El poder de succión de las raíces no tiene la fuerza suficiente para extraer esta película de agua del terreno; esta porción del agua en el suelo no es utilizable por las plantas (Angella y Frías, 2016).

2.8. Contenido de agua en el suelo

Silva et al. (2015); define al suelo como una matriz consistente, no rígida, compuesta de aproximadamente 50 % de partículas minerales y orgánicas; 50 % de espacio poroso ocupado por aire (25 %) y agua (25 %). Se expresa a través de la expresión:

$$V_t = V_s + V_a + V_w$$

$$V_t = V_s + V_p \rightarrow V_p = V_a + V_w$$

Donde:

- V_t Volumen total (cm^3)
 V_s Volumen de suelo (partículas) (cm^3)
 V_a Volumen de aire (cm^3)
 V_w Volumen de agua (cm^3)
 V_p Volumen de poros (cm^3)

La condición hídrica del sistema suelo se describe a través del contenido y energía libre del agua, siendo estos factores los que afectan directamente el proceder vegetal. En efecto, el agua del suelo puede ser, agua de drenaje contenida en los macroporos; agua útil o disponible por los cultivos contenida en los microporos; y, agua higroscópica o agua inerte que no puede ser utilizada por los cultivos. Además, el contenido de agua del suelo se expresa en términos gravimétricos (w) y/o volumétricos (θ).

Contenido gravimétrico (w): es la relación de la masa de agua por unidad de masa de suelo seco, expresándose a través de la siguiente formula:

$$w = \frac{M_w}{M_s} \rightarrow M_w = M_t - M_s$$

Donde:

- M_t Masa de suelo total (g)
 M_w Masa de agua del suelo (g)
 M_s Masa de suelo seco (g)

Contenido volumétrico (θ): es el volumen de agua (V_w) por volumen de suelo (V_t), también puede ser calculado a partir del contenido gravimétrico de agua y la densidad aparente del suelo.

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = w * D_a$$

Silva et al. (2015) explica, en un balance hídrico las entradas y salidas de agua del suelo se expresan en columna de agua, esto es multiplicando el contenido volumétrico de humedad y la profundidad del suelo.

$$h = \theta * profundidad$$

2.9. Energía del agua en el suelo

Llamada también movimiento de agua en el suelo, en el que existen dos tipos de energías: cinética, relacionada con la velocidad del agua por lo que se la considera insignificante ya que es muy lenta; y, potencial, directamente relaciónala con la posición y/o

la condición interna esta a su vez determina el estado energético y el movimiento del agua en el suelo, caracterizando cuatro componentes: potencial gravitacional, potencial mátrico, potencial osmótico, potencial de presión en suelos saturados (Ortiz, 2008).

2.9.1. Curva de retención del agua del suelo.

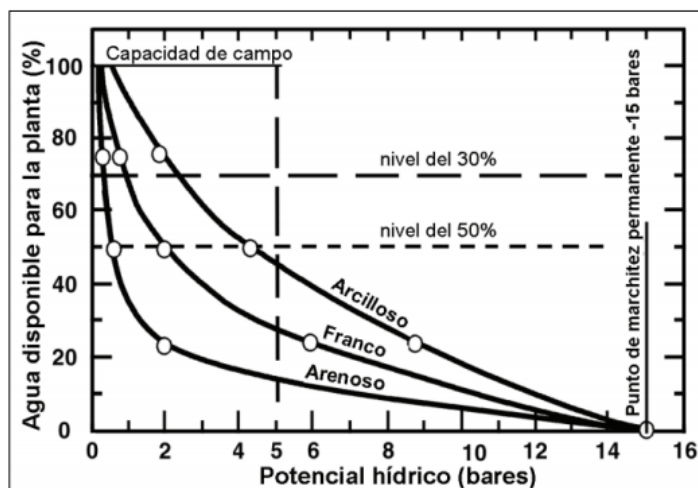
Se define como la relación que existe entre el contenido de humedad en el suelo en términos de volumen y el potencial de retención de agua en el suelo. El potencial se refiere a la energía que la planta emplea para extraer el agua desde el suelo a un determinado nivel de humedad, sin embargo la energía necesaria para la extracción del agua del suelo es mayor al momento que el contenido de humedad se reduce (Bejar-Pulido et al., 2020).

Silva et al (2015) explica, en la curva de retención del agua se presentan dos límites, el húmedo y seco; y, se obtiene al graficar el contenido de agua del suelo (eje Y) con la tensión o potencial mátrico (eje X), sometiendo el suelo a presiones de 0,33 y 15 bares (figura 2).

Los factores que determinan la forma de la curva de retención de agua en el suelo son: textura, estructura, materia orgánica, saturación del suelo, capacidad de campo, capacidad de aireación o porosidad, punto de marchitez permanente, agua útil o agua aprovechable y volumen físicamente inerte del suelo (Valarezo et al., 1998).

Figura 2

Curvas de retención del agua en el suelo para suelos arenosos, arcillosos y francos.



Fuente: FAGRO, (2013)

2.9.2. Aplicaciones de la curva de retención de agua del suelo.

Valarezo et al. (1998) indica que la curva de retención de agua se aplica para conocer: el volumen total de poros y la colocación de los poros por rangos de tamaño; la capacidad de aireación del suelo para las raíces y el espacio poroso drenable; crear el rango de agua

aprovechable para las plantas y el volumen de agua rápidamente aprovechable; y, saber el espacio poroso físicamente inerte.

2.9.3. Niveles de humedad del suelo.

En función de la proporción de agua en los poros del suelo y su disponibilidad para las plantas, Alocén (2007), citado por Guamán (2021), define:

Capacidad de campo (CC): es la cantidad de agua retenida en los microporos del suelo después que el excedente de agua se haya drenado y que la tasa de drenaje sea prácticamente nula, esto se obtiene de 48 a 72 horas posteriores a una lluvia o riego en suelo permeable y textura uniforme, corresponde al contenido de agua a una tensión o potencial mátrico de 0,33 bares; representa el límite máximo de agua utilizable por plantas y el máximo nivel de confort hídrico para los cultivos.

Punto de marchitez permanente (PMP): es el contenido de humedad en la zona radicular del cultivo al cual la planta se marchita y ya no puede recuperar su turgencia, si ella es colocada en una atmósfera saturada de humedad durante 12 horas, en efecto es el contenido de agua que tiene un suelo cuando el cultivo extrajo toda el agua utilizable.

Agua aprovechable (AA): es la máxima cantidad de agua que la planta puede disponer para su absorción en determinado perfil; en otras palabras, es el agua retenida entre CC y PMP, se puede expresar en términos de lámina (LAA)

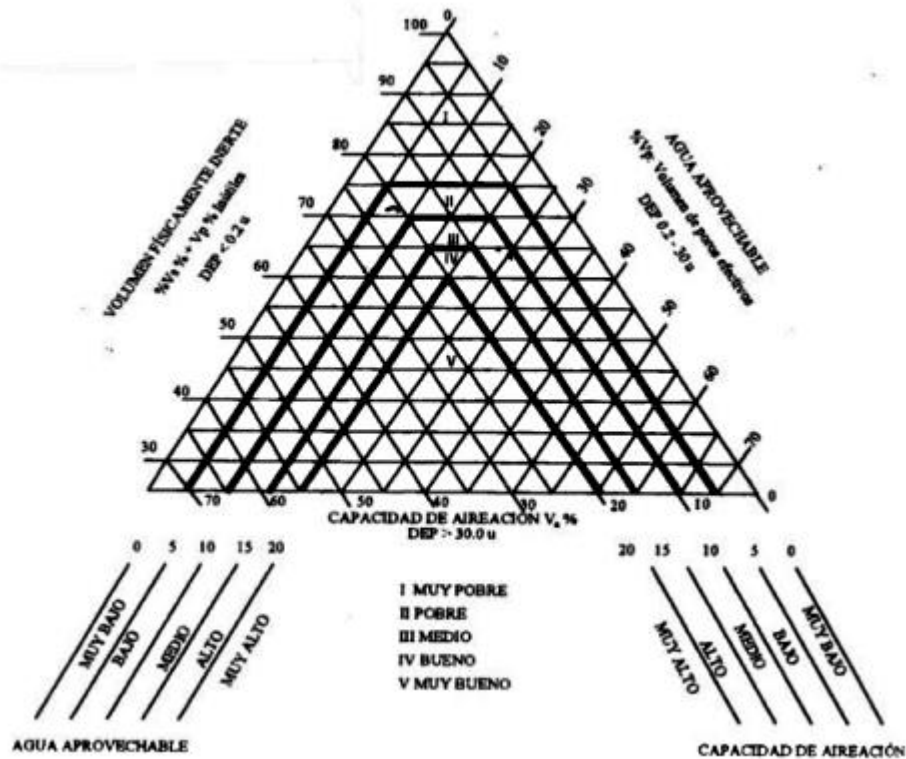
Saturación: es el contenido de humedad en el que todos los poros del suelo se llenan de agua, por lo que los poros no poseen aire y por ende la mayoría de los cultivos no pueden sobrevivir más de dos a cinco días por asfixia, siendo el arroz la principal excepción. Para evacuar el exceso de agua, que por lo general se da en estaciones lluviosas, se realiza el drenaje.

2.9.4. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.

La distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo (sólida, líquida y gaseosa) a capacidad de campo, sirve para estimar la condición física del suelo en relación al crecimiento de las plantas; y, para su clasificación se utiliza el diagrama triangular (Figura 3), que relaciona los valores porcentuales del volumen a capacidad de aireación, agua aprovechable y el volumen físicamente inerte del suelo, que es igual al volumen de sólidos más el volumen inútil de poros, corresponde al valor del contenido volumétrico de agua a punto de marchitez permanente (Valarezo et al., 1998).

Figura 3

Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.



Fuente: Valarezo et al. (1998)

2.10. Infiltración del agua en el suelo

La infiltración es una propiedad física importante en la relación con el manejo del agua de riego en los suelos; se refiere a la velocidad de entrada del agua en el suelo. La velocidad de infiltración es la relación entre la lámina que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, dato que permite seleccionar el método de riego (Gallegos, 2016).

La cantidad de agua que se infiltra en un suelo en una unidad de tiempo, bajo condiciones de campo, es la máxima al comenzar la aplicación del agua en el suelo y disminuye conforme aumenta la cantidad de agua que ya ha entrado en el suelo (Cisneros, 2003).

Cisneros, (2003), considera que los factores que afectan la infiltración del agua en el suelo son:

Sellamiento superficial: la formación de una fina y compacta capa sobre la superficie del suelo afecta negativamente la infiltración, al reducir rápidamente la penetración de agua a través de la superficie.

Compactación del suelo: el laboreo del suelo con implementos facilita la infiltración. Sin embargo, araduras y pases de rastra permanentes hasta una profundidad similar en

suelos húmedos con ciertas características de textura, pueden producir una compactación y formación de una capa impermeable denominada “pie de arado”, que afecta negativamente la infiltración.

Sales del suelo y agua: las sales que puede contener el agua de riego se van acumulando en el perfil del suelo; algunas pueden ser benéficas al cultivo; sin embargo, hay otras como el sodio que altera la estructura del suelo y tiene un efecto negativo sobre la infiltración.

Sedimentos en el agua de riego: en algunos lugares las partículas de limo y arcilla que se mantienen en suspensión en el agua de riego provocan un encostramiento el cual disminuye en forma notoria la infiltración del agua.

Materia orgánica y rotación de cultivos: la materia orgánica mantiene la porosidad del suelo durante períodos largos, dependiendo del estado de descomposición en que se encuentre. Esto hace que la velocidad de infiltración no se altere y, más aún, que aumente.

Textura del suelo: la textura o combinación de partículas de arena, limo y arcilla tienen gran impacto en las características del suelo con respecto a la infiltración. Texturas más gruesas, la infiltración será más rápida y texturas más finas tendrán infiltración más lenta.

2.11. Calidad del agua para Riego

La calidad del agua para riego y su composición son factores que influyen en el desarrollo de la planta, en la estructura del suelo y en el mismo sistema de riego. Se refiere principalmente, a la composición químico-física del agua o más concretamente, a la composición mineral del agua y a la presencia de sustancias sólidas u orgánicas en la misma (Olivieri, 2020).

Los criterios de calidad de agua para el riego son muy diferentes respecto a los criterios de agua potable; además, los criterios de calidad pueden variar según el tipo de cultivo, dado que distintos cultivos tienen diferentes susceptibilidades a determinados minerales o propiedades del agua.

Según Olivieri (2020), los parámetros y las propiedades químicas que determinan la calidad del agua para riego son: dureza, salinidad, pH, alcalinidad, relación entre sodio, calcio y magnesio.

2.11.1. La dureza del agua.

Es básicamente la suma de las concentraciones de calcio y magnesio del agua, expresadas en *PPM* (partes por millón) de $CaCO_3$. El calcio y el magnesio son nutrientes esenciales para las plantas y una adecuada concentración en el agua son un beneficio. Sin embargo, cuando la dureza del agua es demasiado elevada, en el sistema de riego podrían

producirse precipitaciones de sales, calcio y magnesio; y cuando es demasiado baja podría causar corrosión en el sistema de riego (Puñales y Aguilar, 2016).

2.11.2. Salinidad del agua.

Según Puñales y Aguilar (2016), la salinidad se refieren a la concentración total de sales disueltas en el agua, se refieren a la calidad del agua para riego. Un nivel de salinidad demasiado elevado reduce la capacidad de la planta de absorber el agua. Esto podría implicar disminución del rendimiento, marchitamiento y hojas quemadas y otros síntomas. La salinidad del agua se mide como TDS (sales disueltas totales) o como conductividad eléctrica (CE).

2.11.3. pH.

Olivieri (2020), enuncia que el pH del agua influye en la solubilidad de las sales minerales. Los minerales no disueltos no están disponibles para las plantas, dado que las plantas pueden absorber los minerales sólo por una solución acuosa, en forma de iones, directamente a través del agua o a través de la solución del suelo. La mayoría de los nutrientes están disponibles con un intervalo de pH comprendido entre 5,5 y 6,5.

Debido a su volumen infinito es muy difícil influir en el pH del suelo controlando el pH del agua para riego; por tanto, la regulación del pH del agua es importante en los siguientes casos (Pérez y Calzadilla, 2011):

- Para evitar el atasco de los emisores; por ejemplo, en el riego por goteo debido a las precipitaciones minerales de carbonato de calcio.
- En la hidroponía y en los terrenos sin suelo, donde el pH del agua para riego influye directamente en la disponibilidad de los nutrientes.
- Cuando un riego frecuente se aplica al suelo, el pH del agua puede influir en la absorción de los nutrientes.

2.11.4. Alcalinidad del agua.

La alcalinidad es la medida de la capacidad del agua de resistir a las variaciones del pH. Se calcula como la suma de ácido carbónico (H_2CO_3), bicarbonatos (HCO_3) y carbonatos (CO_3^{-2}) en el agua; se considera como un parámetro importante de calidad del agua para riego, influye en la disponibilidad de muchos nutrientes (Catalán, 2018).

2.11.5. Relación entre sodio, calcio y magnesio (RAS)

El RAS es un parámetro de calidad del agua para riego que ayuda a estimar el potencial del sodio en el agua de absorber las partículas del terreno, en relación con el calcio y al magnesio. El riego con agua con valores *RAS* iguales o superiores a 10, podrían causar la

pérdida de estructura y capacidad de infiltración del suelo. Esto se verifica particularmente en los terrenos que tienen una concentración relativamente alta de arcilla (Olivieri, 2020).

FERTILAB (2020), expresa que la aplicación de aguas con elevadas concentraciones de sodio al suelo disminuye la fertilidad de este debido a la reducción de la aireación, aumento del pH y baja disponibilidad de hierro (Fe) y zinc (Zn), por su parte, la sodicidad se expresa como la concentración relativa de sodio comparada con el calcio y magnesio y existen dos formas de representarla: relación de adsorción de sodio (RAS) y relación de adsorción de sodio ajustada (RAS aj).

La fórmula para determinar el RAS del agua es:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca + Mg)}{2}}}$$

Donde:

RAS Relación de adsorción de sodio (adimensional)

Ca Concentración de calcio en el agua (meq L⁻¹)

Mg Concentración de sodio en el agua (meq L⁻¹)

2.11.6. Carbonato de sodio residual.

Carbonato Sódico Residual también conocido como RSC, es un parámetro que estima la capacidad que tiene el agua de alcalinizar el medio que riega. La sobre alcalinización del agua produce una serie de reacciones químicas que acarrearán una gran cantidad de inconvenientes para el desarrollo de los cultivos (Rey, 2019). El desequilibrio del Carbonato Sódico Residual del agua puede ser crítica para el desarrollo del cultivo.

El Carbonato Sódico Residual suma los carbonatos (CO_3^-) y bicarbonatos (HCO_3^-) y resta los iones de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). El resultado total indica el exceso o el defecto de poder alcalinizante. Los valores deseados de Carbonato Sódico Residual son siempre menores a 1,5 meq/L, siendo valores superiores a estos considerados como peligrosos cuya fórmula es la siguiente:

$$RSC = (CO_3^- + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+})$$

Los iones de calcio y magnesio restan el valor del carbonato y bicarbonato, si están en equilibrio el valor será cercano a cero o negativo, si no lo están en equilibrio habrá mucho carbonato y bicarbonato libre y preparado para reaccionar (Rey, 2019).

2.12. Diseño Agronómico en el riego

El diseño agronómico del riego determina las necesidades de agua que un cultivo requiere en época de mayor demanda, teniendo en cuenta el suelo, calidad del agua y climatología. El diseño agronómico se desarrolla en dos etapas: cálculo de las necesidades de agua de los cultivos y determinación de los parámetros de riego (Mullo, 2016).

2.12.1. Necesidades de agua del cultivo.

Es la cantidad de agua requerida por las plantas para reponer el consumo producido por la evapotranspiración y el agua retenida en las plantas, se determina la evapotranspiración del cultivo para ser compensado a través del riego (Villafáfila, 2009).

2.12.2. Evapotranspiración (ET).

Según FAO (2006) es la transferencia de agua del suelo hacia la atmósfera mediante la combinación de dos procesos por los que se pierde agua, por la transpiración del cultivo y a través de la superficie del suelo por evaporación, en lo esencial, es el proceso en el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se vuelve de la superficie evaporante, hacia la atmósfera.

La Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0), es la cantidad de evapotranspiración del cultivo de referencia, que generalmente se toma al pasto rey grass o alfalfa bajo condiciones estándar, con características específicas en el cual los únicos factores que afectan a la ET_0 son los factores climáticos. Por su parte la ET_0 expresa el poder de evaporación de la atmósfera en un lugar y épocas del año específicos sin considerar los factores de suelo ni las características del cultivo; es por ello, que la ET_0 es el parámetro climático que se puede estimar a partir del cálculo de datos meteorológicos (Goyal y Aladakatti, 2018).

2.12.3. Métodos para determinar la evapotranspiración de referencia.

Existen dos tipos de métodos de cálculo, los directos y empíricos (Guayasamín, 2020):

Métodos directos: Miden directamente los consumos por evaporación y proporcionan valores más reales; además, sirven para ajustar los parámetros de los métodos empíricos y se pueden dividir en lisímetro volumétrico y gravimétrico. La ventaja de este método es la facilidad en la toma de mediciones y la aplicación del agua, también se consideran como métodos directos, el método de la parcela con tensiómetros y el tanque clase A.

Métodos empíricos: se han desarrollados en función de los datos meteorológicos, entre otros se menciona Hargreaves (de radiación), Blaney-Criddle, Thornthwaite, Turc, Hansen, Penman-Monteith.

El método de Hargraves fue planteado por Hargreaves y Samani (1985), es un método sencillo para determinar la evapotranspiración de referencia; se necesita información climática como temperatura media, radiación medida y calculada, radiación extraterrestre equivalente, factor de latitud mensual, humedad relativa además de la altitud respecto al nivel del mar. Los cálculos de la evapotranspiración potencial pueden ser con base a la radiación y temperatura (Vásquez et al., 2017)

Con base a la radiación:

$$ETP = 0,004 * TMF * RS$$

Donde:

ETP Evapotranspiración potencial (mm mes⁻¹)

RS Radiación solar media mensual (cal cm² día⁻¹)

TMF Temperatura media mensual en grados Fahrenheit (°F)

$$TMF = \frac{9}{5} * T_{med}(^{\circ}C) + 32$$

Con base a datos de radiación solar equivalente:

$$ETP = 0,0075 * RSM * TMF$$

Donde:

RSM Radiación solar equivalente en mm evaporación mensual (mm/mes)

$$RSM = 0,0075 * RMM * S^{0,5}$$

RMM Radiación extraterrestre equivalente de evaporación (mm/mes)

$$RMM = Ra * DM$$

Ra Radiación extraterrestre equivalente, evaporación diaria (mm día⁻¹) Tabla

DM Número de días del mes que se analiza.

S Porcentaje de horas de insolación (%)

$$S = \frac{n}{N} * 100$$

Con base a temperatura:

$$ETP = MF * TMF * CH * CE$$

Donde:

ETP Evapotranspiración potencial (mm mes⁻¹)

MF Factor mensual de latitud

TMF Temperatura media mensual (°F)

<i>CH</i>	Factor de corrección para la humedad relativa
<i>HR</i>	Humedad relativa media mensual (%)
<i>CE</i>	Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

2.12.4. Coeficiente de cultivo (*Kc*).

El valor del coeficiente de cultivo sirve para transformar los requerimientos hídricos del cultivo de referencia calculado con las fórmulas correspondientes en los requerimientos hídricos del cultivo a regar, así como también para una adecuada planificación de riego y propósitos de manejo, estableciendo calendarios básicos de riego. El *Kc* depende del crecimiento y desarrollo del follaje. El índice de área foliar (*IAF*) se utiliza para describir este proceso (Jiménez-Cumbicus, 2019).

2.12.5. Evapotranspiración del cultivo (*ETc*).

Es el requerimiento hídrico que tiene el cultivo a regar en cada fase fenológica, debe señalarse que la evapotranspiración de un cultivo será diferente a la del cultivo de referencia (*ETo*) en la medida en que sus características de cobertura del suelo, propiedades de la vegetación y resistencia aerodinámica difieran de las correspondientes al pasto (FAO, 2006a). Se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, *ETo* y el coeficiente del cultivo *Kc*:

$$ETc = ETo * Kc$$

Donde:

<i>ETc</i>	Evapotranspiración del cultivo (mm día ⁻¹)
<i>ETo</i>	Evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹)
<i>Kc</i>	Coeficiente del cultivo

2.12.6. Parámetros de riego.

La *ETo* representa un indicador de la demanda climática, el valor de *Kc* varía principalmente en función de las características particulares del cultivo.

La lámina de riego se define como la cantidad de agua que es necesario dar en un riego para elevar el contenido de humedad de la zona radicular desde un valor inferior correspondiente a la fracción de agotamiento, hasta un valor superior que coincida con la capacidad de campo (Cadena, 2016).

2.12.6.1. Lámina de agua aprovechable (*LAA*).

Es la cantidad de agua que puede almacenar el suelo a una profundidad determinada definida por el cultivo entre los puntos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente (Maldonado, 2012).

2.12.6.2. Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).

Maldonado (2012) define como la cantidad de agua agotada por el cultivo entre dos riegos contiguos, siendo la cantidad de agua que se debe aplicar en cada riego por unidad de superficie entre los puntos de la capacidad de campo (CC) y el umbral de riego (UR), se la obtiene a través de la ecuación:

$$LARA = LAA * UR$$

Donde:

$LARA$ Lámina de agua rápidamente aprovechable

LAA Lámina de agua aprovechable

UR Umbral de riego

2.12.6.3. Umbral de Riego (UR).

Consiste en no dejar bajar el contenido de humedad del suelo, por debajo de un valor que afecte el crecimiento de las plantas; es decir, manteniendo los niveles de humedad en capacidad de campo, con el propósito que la planta no gaste considerable energía al momento de absorber agua (Villafáfila y Wyss, 2009).

2.12.6.4. Lámina bruta o lámina total de riego (L_r).

Jiménez (2019) define como la lámina de agua total que necesita un cultivo considerando la eficiencia de aplicación que se encuentra definido por cada método de riego. Se calcula a través de la ecuación:

$$L_r = \frac{LARA_{ajust}}{Ea}$$

Donde:

L_r Lámina de riego (mm)

$LARA_{ajust}$ Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

Ea Eficiencia del método de riego por aspersión (decimal)

2.12.6.5. Frecuencia de riego.

Cadena (2016) define a la frecuencia de riego como el número de días que transcurren entre dos riegos sucesivos, depende de la demanda de agua de la planta y la capacidad de retención de agua del suelo. En otras palabras, es el número de días que el cultivo a través de la evapotranspiración, demora en consumir el del suelo disponible, se calcula con la ecuación:

$$Fr = \frac{LARA}{ETc_{max}}$$

Donde:

- Fr* Frecuencia de riego (días)
LARA Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)
ETc Evapotranspiración máxima del cultivo (mm día⁻¹)

2.12.6.6. Frecuencia de riego ajustado.

Acontece cuando la frecuencia de riego es muy amplia entre el número de días que transcurre para el próximo riego, por lo que se necesita mayor cantidad de agua, más aún cuando no se dispone de suficiente caudal para abastecer al caudal de diseño del sistema, por ello es necesario reajustar la frecuencia a un intervalo de días menor para un óptimo manejo práctico del agua de riego (Gallegos-Díaz, 2016).

2.12.6.7. Elección del aspersor.

Gallegos-Díaz (2016) recomienda que se debe elegir un tipo de emisor que cumpla con todos los requerimientos del cultivo, clima, factor económico, entre otros

2.12.6.8. Intensidad de precipitación (*I_p*).

Es la cantidad de agua provista a una unidad de superficie en mm/h, que emite el aspersor durante el riego sin provocar erosión o encharcamientos en el suelo por ello la condición de diseño deber ser: $I_p \leq VIB$; la intensidad de precipitación depende de las características del aspersor, diámetro de boquillas y la presión de trabajo. Para su cálculo se utiliza la ecuación:

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

Donde:

- I_p* Intensidad de precipitación (mm h⁻¹)
Q_a Caudal del aspersor (L h⁻¹)
S_a Espacio entre aspersores (m)
S_l Espacio entre laterales (m)

2.12.6.9. Número de posiciones.

Se refiere al número de posiciones del aspersor para cubrir la zona de riego, concluyendo así como una relación entre la superficie de riego total y la superficie regada por cada aspersor (Gallegos-Díaz, 2016).

2.12.6.10. Tiempo de riego.

Chow (2006) explica que es el tiempo que el emisor debe funcionar a fin de restituir el agua consumida por el cultivo y los factores ambientales en dicho período; se calcula con:

$$Tr = \frac{Lr}{Ip}$$

Donde:

Tr Tiempo de riego por posición por lateral (h)

Lr Lámina de riego (mm)

Ip Intensidad de precipitación (L h⁻¹)

2.12.6.11. Marco de riego.

Se conoce también como la superficie regada por el aspersor y por tanto es igual a la separación entre aspersores por la separación entre laterales, mismas que dependen de las características técnicas del aspersor

2.13. Diseño hidráulico

El diseño hidráulico tiene como propósito definir el dimensionamiento de la red de tuberías, permite trasladar el caudal de agua desde la fuente hasta la superficie de riego, así como el diámetro de las tuberías (secundaria, terciaria y laterales), disminuyendo las pérdidas de agua y maximizando las eficiencias de conducción, distribución y aplicación en todo el sistema de riego (Vega, 2010).

2.13.1. Pérdidas de carga por fricción longitudinal.

Son las pérdidas de energía de un fluido que se producen a lo largo de la tubería, por efecto de la fricción entre el fluido y las paredes de la tubería y la velocidad del mismo; es decir, en la tubería principal, secundaria y lateral. Los factores que determinan la pérdida de carga son el caudal, diámetro interior de la tubería y coeficiente de fricción o rugosidad; se calcula con la formula (Jiménez, 2019):

$$hf = J * L$$

Donde:

hf Pérdida de carga en la tubería para una longitud (m)

J Gradiente hidráulico (m m⁻¹)

L Longitud de la tubería (m)

Fórmula de Hazen y William para tuberías

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

Donde:

- Q Caudal en (L s⁻¹)
- C Coeficiente de fricción
- D Diámetro interior de la tubería (mm)

Fórmula de Scobey

$$J = 4,098 \times 10^{-3} * K * D^{-4,9} * Q^{1,9}$$

Donde:

- J Gradiente hidráulico o pérdida de carga (m m⁻¹)
- Q Caudal (L s⁻¹)
- K Coeficiente de rugosidad de Scobey
- D Diámetro interior de la tubería (mm)

2.13.1.1. Pérdidas de carga locales.

Son aquellas que se producen en los equipos y accesorios; se crean por las turbulencias que ocurren en el flujo por cambios abruptos en el diámetro de la tubería, el paso del agua por una válvula, torceduras y cambios de dirección de la tubería; la suma de las pérdidas menores deber ser inferior al 30 % de las perdidas por fricción longitudinal de tubería, esta condición es cierta en la mayoría de diseños convencionales de tuberías, cumple con la ecuación $\sum hm \leq 0,3hf$ y se determina a partir de la fórmula:

$$h_1 = K \frac{V^2}{2g}$$

Donde:

- h_1 Pérdida de carga local (m)
- V Velocidad aguas abajo de la zona de alteración del flujo (m s⁻¹)
- K Coeficiente (Adimensional), (Tabla 2)
- g valor de gravedad (9.81m s²⁻¹)

Tabla 2*Coeficiente para pérdidas en accesorios.*

Accesorio	K
Válvula de globo abierta	10,0
Válvula de ángulo abierta	5,0
Válvula de retención de clapeta	2,5
Válvula de compuerta abierta	0,2
Codo de radio pequeño	0,9
Codo de radio medio	0,8
Codo de radio grande	0,6
Codo de 45	0,4
Codo cerrado: inversión de flujo	2,2
Te estándar - dirección de paso	0,6
Te estándar - dirección desvió	1,8
Entrada recta	0,5
Salida brusca	1,0

Fuente : Martínez- et al. (2008)

2.13.1.2. Pérdidas de carga de salidas múltiples o cálculo del lateral.

Jiménez-Cumbicus (2019) explica, en los tubos laterales de riego por aspersión, se determina las pérdidas por fricción considerando que a medida que la longitud se extiende el caudal disminuye, generando una reducción de las pérdidas por efecto de las salidas múltiples. Este fenómeno fue estudiado por el investigador norteamericano Christiansen, quien propuso un coeficiente de reducción por salidas. Dentro de este contexto Valarezo (2013) manifiesta, para corregir este suceso existe un coeficiente de reducción (F) y se encuentra en función del número de salidas, del material de la tubería y la ubicación del primer aspersor con respecto al origen del lateral. Ante ello se presentan tres condiciones y para el cálculo del factor (F).

- Cuando el primer aspersor está ubicado a una distancia igual al espaciamiento del resto de aspersores en un lateral.

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

- Cuando el primer aspersor está ubicado a la mitad de distancia de espaciamiento del resto de aspersores en un lateral (Ea/2).

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

- Cuando el primer aspersor está ubicado al inicio de la entrada del lateral.

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

Donde:

- F Factor de Christiansen
- B Coeficiente en función del material de la tubería
- n Número de salidas

2.13.1.3. Dimensionamiento de un lateral de aspersores.

Para la determinación de los diámetros de los ramales porta-aspersores se debe conocer la uniformidad de distribución de caudales en la zona de riego; además, tener un control de presiones, considerando que la diferencia de presiones máxima y mínima no debe superar el 20 % de la presión nominal del aspersor, lo que ocasiona una diferencia de caudal que no debe ser mayor al 10 %. Se estima a través de la fórmula (Monge, 2018):

$$\frac{P_m}{\gamma} - \frac{P_n}{\gamma} = hf \leq 0,2 \frac{P_a}{\gamma}$$

Donde:

- $\frac{P_m}{\gamma}$ Máxima presión en el aspersor o en el origen del ramal (m)
- $\frac{P_n}{\gamma}$ Mínima presión en el aspersor o en el último aspersor (m)
- $\frac{P_a}{\gamma}$ Presión nominal del aspersor, que se hará coincidir con la presión promedio en el ramal
- hf Pérdida de carga en el lateral (m)

2.13.1.4. Cálculo de un lateral porta-aspersores.

Pereira (2010), manifiesta que se ha comprobado experimentalmente que en un ramal horizontal dicha presión media corresponde a un punto situado en el primer 1/3 de la longitud del lateral a , y en el tramo que va desde el origen hasta este punto se produce aproximadamente el 75 % de la pérdida de carga total del ramal. Por su parte Gallegos-Díaz (2016) expone que para el diseño del ramal la presión media se hace coincidir con la presión nominal del aspersor $\frac{P_a}{\gamma}$ y con base a la posición del lateral o pendiente del terreno se muestran tres casos:

- **Lateral horizontal:** la máxima presión se presenta en el origen del lateral y la mínima en el extremo del lateral.

- **Lateral ascendente:** la máxima presión se presenta en el origen del lateral y la mínima en el extremo del lateral; y cuando existen laterales ascendentes, se considera como positivo el desnivel geométrico entre los extremos del ramal.
- **Lateral descendente:** la presión mínima ya no se encuentra en los extremos; sino en un punto intermedio, pero el error suele ser pequeño en riego por aspersión si se mantiene la condición de diseño, que la diferencia entre la presión en los extremos (P_u/δ) sea menor al 20 % de la presión nominal y de esta manera se simplifican los cálculos.

2.13.1.5. Eficiencia de riego.

Es la relación entre la cantidad de agua utilizada por las plantas y la cantidad de agua suministrada por los aspersores, desde la bocatoma principal y luego es derivada al canal de distribución, para finalmente llevar el agua a nivel de parcela; con esta se evaluará el caudal captado en la bocatoma y la cantidad de agua utilizada para el riego del cultivo (Anguinsaca, 2020).

Los parámetros de operación utilizados para describir la eficiencia del sistema de riego son: eficiencia de conducción, eficiencia de aplicación, eficiencia de uso de agua de riego, uniformidad de distribución y eficiencia de almacenamiento (Calvache-Ulloa, 2009).

2.13.1.6. Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU).

La uniformidad es una medida de igualdad del agua aplicada sobre el área de riego, un sistema de riego, en la práctica, nunca alcanza una uniformidad de 100 %. El coeficiente cuantitativo para medir la uniformidad en los sistemas de riego por aspersión es el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CU). Por ello se tiene que un coeficiente de uniformidad alto significa que el sistema tiene una buena distribución del agua en la zona de las raíces (Peralta, 2001).

Para Antúnez y Mora (2010) citado por Guamán (2021) es la relación entre el promedio de las láminas almacenadas en el perfil del suelo a lo largo del campo regado y la desviación de dicho promedio, para un número específico de muestreos.

$$CU = 100 \left[1 - \frac{\sum(Z_1 - m)}{n * m} \right]$$

Donde:

- CU Coeficiente de uniformidad (%).
- Z_1 Lámina o volumen de agua recolectada en el pluviómetro de muestreo (mm o cm^3)
- m Media de las mediciones de las láminas registradas (mm).
- N Número de puntos de medida o pluviómetros

2.13.1.7. Factores que intervienen en el coeficiente de uniformidad.

Son cuatro los factores que intervienen en el coeficiente de uniformidad: constructivos, que dependen del proceso de fabricación y del material; hidráulicos, los emisores pueden proporcionar mayor o menor caudal frente a otro en las mismas circunstancias; los emisores pueden estar en funcionamiento a diferentes presiones debido a las pérdidas de carga: envejecimiento y obstrucción (Zapata, 1996).

2.13.1.8. Uniformidad de distribución (DU)

Según Pereira (2010) citado por Guamán (2021) la uniformidad de distribución se refiere a la uniformidad de la infiltración en el terreno, destacando que en un sistema de riego por aspersión la lámina infiltrada puede reemplazarse por la lámina aplicada y esta a su vez se determina a través de la siguiente fórmula:

$$DU = 100 \left(\frac{Z_{1q}}{Z_{avg}} \right)$$

Donde:

- DU Uniformidad de distribución (%)
- Z_{1q} Es la cantidad media infiltrada en el cuarto menor del área regada (25 %), correspondiendo a la cuarta parte del área regada que recibe menos agua (mm)
- Z_{avg} Es la cantidad media infiltrada en la parcela (mm)

2.14. Importancia del riego en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) argumentan que la papa a nivel mundial es uno de los alimentos más importantes, ya que ocupa el cuarto lugar en importancia, como producto alimenticio, después del trigo, maíz y arroz y algunos cultivos agroindustriales como la soya y la caña de azúcar.

La papa es un cultivo que demanda un riego exigente, necesita constante disponibilidad de agua en el suelo y bien drenado para que no se generen encharcamientos y el agua no se estanque durante mucho tiempo. La falta de agua en la papa es muy perjudicial, puesto que la sequía y el clima árido favorecen la propagación de plagas y enfermedades en consecuencia disminuyen el rendimiento (AGRICOLUM, 2016).

En Ecuador, el cultivo de la papa prospera satisfactoriamente en zonas donde hay abundancia de lluvia o disponibilidad de agua para riego, ya que el sistema radicular efectivo de la papa se encuentra entre 0,20 a 0,60 m de profundidad, necesitando de 500 a 700 mm de agua durante su período vegetativo (Hurtado, 2012).

Reyes (2013) manifiesta, el agua es un factor importante en el cultivo de papa, requiere de 450 a 550 mm de agua, dependiendo de las condiciones climáticas y de la duración del cultivo. Dentro de este marco la FAO (2008) expone, las variedades modernas de papa son sensibles a la falta de agua en el suelo y necesitan una irrigación frecuente y superficial, es por ellos que un cultivo de papa de 120 a 150 días consume de 500 a 700 mm de agua; la producción se reduce si se agota más del 50 % del total del agua disponible en el suelo durante el período de crecimiento.

Si bien es cierto, el agua en el suelo depende principalmente del aporte de lluvias por lo que la cantidad aprovechable de este elemento por el cultivo será variable y dependerá de las pérdidas que se produzcan por percolación profunda y evapotranspiración.

Según datos del Banco Central, la superficie cosechada de papa a nivel nacional en el año 2018, comparada con el año 2017 ha disminuido en 4 %, tendencia que cambia luego de dos períodos de crecimiento. Este decrecimiento se explica básicamente por el factor climático que fue desfavorable para los cultivos por falta de lluvias, los agricultores enfrentaron una fuerte época de sequía que afectó los cultivos (EL PRODUCTOR, 2019).

De acuerdo al MAG (2019), en el país existe una superficie sembrada de este tubérculo de 50 mil hectáreas, de donde se producen 300 mil toneladas repartidas en la alimentación de cada familia, en efecto en el Ecuador, cada persona consume un promedio de 30 Kg de papa al año.

2.15. Importancia del riego en pasturas

La importancia del riego en la agricultura está totalmente comprobada; a esto, se puede adicionar su significativo aporte en la ganadería, muchos productores están adoptando este sistema por la rápida recuperación de pastos y los resultados han sido óptimos.

Una de las causas de la poca productividad en la ganadería en el país es la baja productividad de los pastizales que en su mayoría son dependientes de las precipitaciones anuales. La mayoría de las áreas para producción de pastos no son aprovechadas al máximo debido a la falta de tecnología de acceso al recurso hídrico (Espino, 2016).

Se puede mencionar diferentes tipos de riego en dependencia de la zona donde se encuentre los pastizales. Espino (2016) manifiesta que se considera riego integral cuando el período y la magnitud del déficit es significativo, y el aporte de la lluvia al proceso de evapotranspiración es de escasa magnitud. Se considera riego complementario cuando el aporte de la lluvia al proceso de evapotranspiración durante un lapso ininterrumpido resulta significativo (del 30 % al 60 % de la evapotranspiración). Se considera riego suplementario cuando la lluvia representa casi totalidad de la evapotranspiración, pudiendo incluso superarla en algún punto del ciclo.

El uso tecnificado del riego mejora la producción de los pastos al no haber limitantes de humedad en el suelo, a lo cual hay que sumar, con humedad en el suelo se mejora la disponibilidad y absorción de nutrientes por parte de las plantas contribuyendo de manera inmediata a una mayor producción de biomasa y por tanto de materia seca (INIA, 2012).

En este sentido al tener un sistema de riego controlado con respecto al tiempo de riego y cantidad de agua a aplicar, así como programas de fertilización que se puedan aplicar en las etapas más críticas de los pastizales ayudará a obtener producciones más elevadas de materia seca y también obtendremos ciclos sucesivos de producción de pastos (INIAP, 2014).

La ganadería en el Ecuador depende del pastoreo, los pastos a más de constituir el alimento más barato disponible para la alimentación del ganado, ofrece todos los nutrientes necesarios para un buen desempeño animal; por lo tanto, todo lo que se pueda hacer por mejorar la tecnología de producción de pastos redundará en forma directa en la producción de carne, leche o lana (Castro, 2013).

La mayor parte del territorio ecuatoriano tiene condiciones ambientales favorables para producir pastos todo el año, no se presentan los inviernos rigurosos de Europa, ni las sequías extremas de África donde el clima obliga a confinar el ganado. Por estas ventajas comparativas, Ecuador debería ser excelente productor de pasto, con la posibilidad de hacerlo con costos más bajos, la ganadería pastoril es más económica que la de confinamiento.

2.16. Investigaciones sobre diseño de riego por aspersión

Espinosa (2011), en su trabajo de tesis “Diseño e Instalación de un Sistema de Riego por Aspersión para 50 ha de Cultivo de Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*) en la Provincia del Guayas” concluye, la evapotranspiración máxima del cultivo de $4,32 \text{ mm h}^{-1}$ se da en mayo; la dosis de riego para suelo arcilloso fue 25 mm, franco-arcilloso 21 mm y franco-arcilloso-arenoso 13,33 mm con un intervalo máximo de riego de 5, 4 y 3 días, respectivamente; las líneas secundarias se diseñaron con velocidades superiores a 2 m s^{-1} para contrarrestar las ganancias de presión producidas por los desniveles; la tubería principal se diseñó y calculó en circuito cerrado logrando disminuir diámetro de tubería y pérdidas por fricción en el sistema.

Anguinsaca (2020), en su tesis “Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y micro aspersión en el predio “La dolorosa” de la parroquia Chuquiribamba, cantón y provincia de Loja”, garantiza la irrigación de 0,39 ha, en los meses de máxima demanda hídrica, con caudal de 0,66 L/s y velocidad de infiltración de 6,7 mm/h selecciona el aspensor y micro aspensor que mejor se ajuste a estos parámetros; cabe resaltar, debido a la pendiente del terreno, realiza algunas adecuaciones que incluyen la construcción de camas que igualen

la pendiente por donde se da paso a la red hidráulica y siembra de plántulas, caminos de acceso, además de las labores de limpieza de maleza.

Solórzano (2012), en su tesis “Diseño e implementación de un sistema de riego por aspersión, en cacao (*Theobroma cacao* L) en el campus de la ESPAM-MFL”, calculó intervalos de riego para cada 1 día; el tiempo de riego entre 6,42 a 9,51 minutos; caudal en el origen del lateral de 3 150 L/h, 85 m de longitud real y 102 m ficticia calculada; diámetro interior de 29,6 mm y comercial de 32 mm; pérdida de carga real de 2,9 mca, presión en el origen del lateral de 33,22 mca (PSI). Además, concluye que con el diseño agronómico e hidráulicos se obtienen las necesidades hídricas reales de la planta, los caudales y presiones de trabajo adecuados para el buen funcionamiento del sistema de riego; y, la instalación del sistema de riego es una buena opción para incrementar la productividad del cultivo, debido a que la planta recibe sus requerimientos de agua necesaria.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del predio “Buenos Aires”

El trabajo se desarrolló en la finca “Buenos Aires” en el sector Chariguiña de la parroquia San Antonio de Cumbe, a 7 km de la ciudad de Saraguro. La extensión de la parroquia es de 78,33 km², limita al Norte con la provincia del Azuay, al Sur con la parroquia Urdaneta, al Este con la parroquia El Tablón y al Oeste con la parroquia San Pablo de Tenta.

Figura 4

Ubicación del predio “Buenos Aires”



Ubicación geográfica.

La finca se encuentra ubicada a una altitud de 2 828 msnm en las siguientes coordenadas UTM, Zona 17 Sur, Datum WGS84, en la zona 17s a 9 603 953,61 m Norte y 699 826,07 m Este.

Ubicación ecológica.

Zona de vida: Según Holdridge (bs-PM), bosque seco premontano

Temperatura: mínima 6 °C, máxima 16 °C, promedio anual de 12 °C

Precipitación: 757 mm anuales.

Humedad relativa ambiental: 63 %

3.2. Materiales

Materiales de campo: tablero, libreta de apuntes, lápiz, calculadora.

Materiales de laboratorio y equipos: estación total, nivel topográfico, manómetro, GPS, cámara fotográfica, flexómetro, estacas, cilindros infiltrómetros, cilindros Koppecky de 100 cm³, recipiente plástico, hielera termo espuma flex T3, hielo sintético, machete, pico, barreta y baldes.

Recursos tecnológicos y programas: computador, memoria USB, impresora, AutoCAD Civil 3D 2018, anuarios meteorológicos del INAMHI y material bibliográfico.

3.3. Metodología

3.3.1. Metodología para el primer objetivo.

Describir las características hidrofísicas del suelo de la finca “Buenos Aires” para el diseño de un sistema de riego por aspersión.

Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.

Para la determinación de las constantes hidrofísicas se tomaron las muestras de suelo disturbadas y no disturbadas para: pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, densidad aparente, porosidad y textura; y, muestras inalteradas en la superficie del suelo, con los anillos Kopecky, para determinar la curva de retención de humedad del suelo. Las muestras se enviaron al Laboratorio de Suelos, Foliare y Aguas de AGROCALIDAD de la ciudad de Quito.

Descripción del perfil del suelo.

Para la descripción del perfil del suelo, se utilizó la Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos del USDA, (2014); para ello, se realizó una calicata de 1,5 m de largo, 1,0 m de ancho y 1,0 m de profundidad, donde se delimitó cada horizonte; de los tres primeros se tomó muestras de suelo con corte trasversal y se realizó la descripción del color, ensayos de campo rápidos para determinar la textura del suelo, tales como: prueba de lanzamiento de la bola y prueba de comprensión de la bola; la clasificación de la textura del suelo de fina a gruesa, con ensayos de campo: prueba de la bola de barro, se determinó la clase textural con ensayos de campo: prueba de desmenuzamiento en seco, y prueba de manipulación.

3.3.2. Metodología para el segundo objetivo.

Diseño de un sistema de riego por aspersión que garantice la productividad agrícola de la finca Buenos Aires.

Medición del caudal de la fuente de abastecimiento.

Se determinó el origen del agua, para saber si la fuente de abastecimiento es superficial o subterránea. En este caso, se trata de la quebrada Chariguiña de donde se deriva el agua hasta la finca por medio de una manguera, el aforo del caudal se realizó mediante el método volumétrico, en época de estiaje con 4 pruebas por separado es decir, durante cada semana se aforaba para lo cual se despejó una parte de la quebrada, se encausó toda el agua y se dejó caer la corriente, de manera tal que reciba todo el flujo de agua; al mismo tiempo se activa el cronómetro. En este proceso el cronómetro inicia en el instante en que el recipiente se introduce a la corriente y se detiene en el momento en que se retira de ella, o se llena el recipiente. Es importante cronometrar varios tiempos de llenado, para estimar un valor promedio; además, se debe evitar la pérdida de agua en el momento de aforar.

El caudal se calculó con la fórmula:

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

Donde:

- Q Caudal en litros por segundo (L s⁻¹)
- V Volumen en litros (L)
- T Tiempo en segundos (s)

Superficie a regar.

Se realizó un levantamiento topográfico (Anexo 1) con GPS (Sistema de Posicionamiento Global), procedimiento que consiste en obtener la posición de un punto midiendo las distancias existentes entre las antenas emisoras de los satélites y la antena receptora del equipo de campo; se determinó un punto de partida visible del área a medir, para ello se coloca la basada en el trípode y se lleva a cabo el estacionamiento; luego se coloca la antena del GPS, se enciende la antena y la libreta electrónica. Luego se configura la libreta electrónica siguiendo los pasos indicados en la guía para uso de correcciones del sensor óptico

Con la Antena GPS SP60 se recorre el terreno cada 10 m y se va anotando los puntos en el dispositivo portátil *trimble access*. Los datos se almacenan en una tarjeta de memoria para después procesar en el software instalado en el ordenador, en este caso la información se la proceso con ayuda de una hoja de cálculo guardada en un formato de "Separación por comas" para el programa AutoCAD Civil 3D 2019 de los cuales se generó el plano topográfico.

Curva de retención de humedad del suelo.

Con los resultados de las constantes hidrofísicas, se graficó la curva de retención de humedad del suelo (figura 7), en el eje de la ordenada, la energía con que el agua es retenida en el suelo o potencial hídrico y en la abscisa el contenido de humedad en base a volumen.

Evaluación de las condiciones físicas del suelo.

Se utilizó el diagrama triangular de la evaluación de las condiciones físicas del suelo; se relaciona los valores porcentuales del volumen físicamente inerte (*VFI*), agua aprovechable (*AA*) y capacidad de aireación (*CA*), ecuaciones que se detallan en el anexo 2, logrando obtener los parámetros para clasificar la condición física del suelo para el desarrollo de la planta.

Velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Para determinar la infiltración se utilizó el método de los cilindros infiltrómetros simples con tres repeticiones. Es importante indicar que anteriormente todo el terreno se encontraba en un estado de reposo; por tanto, el terreno fue arado con maquinaria agrícola; luego se procedió de la siguiente manera: (Anexo 5).

- Se limpió el terreno, se instaló el anillo de diámetro mayor y luego el de menor diámetro, se introdujeron a 10 cm y se nivelaron.
- Se llenó con agua los anillos y se registran las lecturas de la variación del nivel de agua en el anillo interno,
- Las lecturas se tomaron a 5, 10, 15, 30 y 60 min, cada intervalo por una hora respectivamente, es importante indicar que el descenso del nivel de agua se debe estabilizar.
- Para determinar la velocidad de infiltración básica se utilizó la ecuación de Kostiakov.

Infiltración acumulada

A través de la ecuación de Kostiakov; se graficó la curva de infiltración acumulada en la hoja de cálculo, con el tiempo acumulado (eje X) y lámina acumulada (eje Y), mediante el siguiente modelo matemático:

$$I_{cum} = A * t^B$$

Donde:

I_{cum} Infiltración acumulada (cm)

A y *B* Parámetros de la ecuación (adimensional)

t Tiempo (min)

Infiltración instantánea.

Partiendo de la ecuación potencial positiva de la infiltración acumulada se determinó la ecuación potencial negativa o infiltración instantánea:

$$I_{inst} = a * t^b$$

Donde:

I_{inst} Infiltración instantánea (cm)

t Tiempo (min)

a y b constantes negativas (adimensional), que se determina despejando las siguientes ecuaciones:

$$A = a/(b + 1) \rightarrow a = A(b + 1)$$

$$B = (b + 1) \rightarrow b = B - 1$$

Velocidad de infiltración básica

Se obtuvo derivando la ecuación de infiltración instantánea y se multiplica por un factor de conversión para expresarlo en horas.

$$I_{bas} \left(\frac{mm}{h} \right) = a \left[(-600 b) \right] ^b$$

3.3.3. Diseño agronómico.

Una vez obtenida la información primaria para el diseño agronómico de un sistema de riego por aspersión se procede a calcular los parámetros que permiten planificar el uso del agua en el cultivo en épocas de máxima necesidad.

Evapotranspiración del cultivo.

Se determinó mediante la ecuación que recomienda la (FAO, 2006a), para el cálculo de la evapotranspiración del cultivo:

$$ET_c = ET_o * K_c$$

Donde:

ET_c Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹)

ET_o Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

K_c Coeficiente del cultivo (adimensional)

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o).

Se determinó mediante la fórmula de Hargreaves (1985) (Anexo 6), dado que se ajusta a la información proporcionada por la estación de Saraguro: temperaturas y radiación solar;

además, la altura de la estación meteorológica (2 525 m.s.n.m.) se asemeja a la del sitio en estudio (2 828 m.s.n.m.), ya que según Anguinsaca (2020) en su investigación (Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión en el predio “La Dolorosa” de la parroquia Chuquiribamba, cantón y provincia de Loja), compara 3 sitios con alturas parecidas empleando la metodología del gradiente altitudinal y mediante un análisis estadístico de varianza ANNOVA, identifica que no existe diferencia significativa entre ellos.

Los datos que se tomaron de la estación meteorológica son: temperaturas radiación solar y humedad relativa, se aplica la fórmula de Hargreaves con base a temperatura para obtener los valores de ET_o . Estos datos se recuperaron de los anuarios meteorológicos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología)

Fórmula de Hargreaves:

$$ET_o = MF * TMF * CH * CE$$

Dónde:

ET_o Evapotranspiración de referencia (mm mes⁻¹)

MF Factor mensual de latitud, se obtiene de la tabla

TMF Temperatura media mensual (°F), medida

CH Factor de corrección para la humedad relativa

$$CH = 0,166(100 - HR)$$

HR Humedad relativa media mensual (%), medida (si, $HR > 64$ %, se emplea la fórmula anterior, en caso $HR < 64$ %, $CH = 1$)

CE Factor de corrección para la altura o elevación del lugar

$$CE = 1 + 0,04 * \frac{E}{2000}$$

Coeficiente del cultivo (K_c).

Se graficaron las curvas del K_c del cultivo para la papa y el pasto, tomando como referencia las etapas fenológicas y los K_c emitidos por la (FAO, 2006b). Con la fecha de siembra y el ciclo del cultivo, se gráfica ingresando en el eje “X” el periodo de cada fase, correspondiente al número de días de cada mes, representando la fase fenológica del cultivo; y, en el eje “Y” los valores del coeficiente de cultivo, y con este resultado se obtuvo un K_c con un periodo de cada 15 días por mes (Anexo 7).

Índice de humedad.

Mediante el índice de humedad, la precipitación del lugar y la evapotranspiración de referencia se procedió a la determinación de los meses de déficit y exceso de agua. Estos datos de precipitación se recuperaron de los anuarios meteorológicos del INAMHI, en un periodo de 28 años (1986-2014), de la estación meteorológica Saraguro.

Gallegos-Díaz (2016), citado por Guamán (2021), propone usar como estimador de la humedad disponible, indicando la escasez de agua, si es menor a 1, o exceso de agua si es mayor que 1; y, viene expresado por la siguiente ecuación:

$$I_h = \frac{P_m}{ET_o}$$

Donde:

- I_h Índice de humedad
- P_m Precipitación media mensual (mm)
- ET_o Evapotranspiración de referencia (mm)

Requerimientos hídricos del cultivo.

Según la FAO (2006) los requerimientos hídricos del cultivo, se determina en función de la evapotranspiración del cultivo y la precipitación efectiva, la cual se estima mediante dos condiciones:

$$Pe = 0,8 * Pm - 25; \text{ si } Pm > 75mm \text{ mes}^{-1}$$

$$Pe = 0,6 * Pm - 10; \text{ si } Pm < 75mm \text{ mes}^{-1}$$

Donde:

- Pe Precipitación efectiva (mm)
- Pm Precipitación media mensual (mm)

Parámetros de riego.

Según Cadena (2012) son parámetros que determinan las láminas de riego y el tiempo de riego, a partir de los resultados obtenidos de las propiedades hidrofísicas del suelo; además, se seleccionó el aspersor más adecuado a las condiciones del terreno

Lámina de agua aprovechable (LAA)

Para este parámetro se utilizaron los datos de las características físicas e hidrofísicas del suelo y valores de profundidad efectiva de las raíces encontrados en estudios agronómicos realizados a cada uno de los cultivos. Se utilizó la ecuación y el umbral de riego $f = 0,5$ (decimal)

$$LAA = \frac{CC - PMP}{100} * Da * Pef * f$$

Donde:

- LAA* Lámina de agua aprovechable (mm)
CC Contenido de humedad a capacidad de campo expresado en términos de masa (%)
PMP Contenido de humedad punto de marchitez permanente expresado en términos de masa (%)
Da Densidad aparente del suelo (g cm⁻³)
Dw Densidad del agua (g cm⁻³)
P Profundidad efectiva radicular (mm)

Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)

Se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$LARA = LAA * UR$$

Donde:

- LARA* Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)
LAA Lámina de agua aprovechable (mm)
UR Umbral de riego o porcentaje de agotamiento (decimal)

Frecuencia de riego (Fr).

Se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{LARA}{ETc_{max}}$$

Donde:

- Fr* Frecuencia de riego (días)
LARA Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)
ETc Evapotranspiración máxima del cultivo (mm día⁻¹)

Frecuencia de riego ajustado (Frj).

Se estimó con la siguiente ecuación:

$$Frj = ETc * \# \text{ dias}$$

Donde:

- Frj* Frecuencia de riego ajustada (días)
ETc Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹)

dias Número de días (días)

Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (*LARAajust*).

Se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$LARA_{ajust} = ET_{c_{max}} * Frj$$

Donde:

LARAajust Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

ETc Evapotranspiración máxima del cultivo (mm día⁻¹)

Frj Frecuencia de riego ajustada (días)

Lámina de riego (*Lr*).

Se determinó a partir de la siguiente ecuación:

$$Lr = \frac{LARA_{ajust}}{Ea}$$

Donde:

Lr Lámina de riego (mm)

LARAajust Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

Ea Eficiencia del método de riego por aspersión (decimal)

Selección del Aspersor.

El aspersor que se seleccionó es aquel que proporciona una intensidad de precipitación horaria inferior a la velocidad de infiltración básica, para garantizar que no exista escorrentía superficial y por tanto erosión hídrica. (Gallegos-Díaz, 2016). Además, de seleccionar el aspersor, se debe definir la línea de riego.

Marco de riego.

Debido a las condiciones del terreno de la zona de estudio, se consideró el 60 % del diámetro húmedo que proporciona el aspersor seleccionado; pero con el objeto de obtener una mayor uniformidad, se adopta el espaciamiento recomendado por el fabricante.

Intensidad de precipitación del aspersor (*Ip*).

Con las características del aspersor seleccionado, se procedió a calcular la intensidad de precipitación horaria, la misma que servirá para el cálculo del tiempo de riego, con la siguiente fórmula:

$$Ip = \frac{qa}{Sa * SI}$$

Donde:

I_p Intensidad de precipitación (mm h^{-1})

Q_a Caudal del aspersor (L h^{-1})

S_a Espacio entre aspersores (m)

S_l Espacio entre laterales (m)

Tiempo de riego (T_r)

Se determina con base a la lámina de riego y la intensidad de precipitación, esto es para el tiempo de posición del lateral, se calcula mediante la ecuación:

$$T_r = \frac{L_r}{I_p}$$

Donde:

T_r Tiempo de riego por posición por lateral (horas)

L_r Lámina de riego (mm)

I_p Intensidad de precipitación (mm h^{-1})

Número de aspersores por lateral (N_{AL}).

El número de aspersores por lateral se calculó de acuerdo con la siguiente expresión matemática

$$N_{AL} = \frac{L_{TL}}{S_a}$$

Donde:

N_{AL} Número de aspersores por lateral (Unidad)

L_{TL} Longitud del terreno en dirección del lateral (m)

S_a Espacio entre aspersores (m)

Longitud del lateral (L_L).

Cuando el primer aspersor se ubica a mitad de la separación entre aspersores (S_a 2⁻¹). La longitud del lateral se determinó con la siguiente formula

$$L_L = S_a * (N_{AL} - 0,5)$$

Donde:

L_L Longitud del lateral (m)

S_a Espacio entre aspersores (m)

N_{AL} Número de aspersores por lateral (Unidad)

Caudal del lateral (Q_L).

El caudal del lateral se determinó con la expresión matemática:

$$Q_L = Q_a * N_{AL}$$

Donde:

Q_L Caudal del lateral ($L h^{-1}$)

Q_a Caudal del aspersor ($L h^{-1}$)

N_{AL} Número de aspersores por lateral (Unidad)

Número de laterales en el área (N_L).

Para el cálculo del número de laterales se empleó la expresión matemática:

$$N_L = \frac{L_S}{Sl}$$

Donde:

N_L Número de laterales en el área (Unidad)

L_S Longitud del terreno, en dirección del secundario (m)

Sl Espacio entre laterales (m)

Caudal de la línea secundaria

El caudal de la línea secundaria se determinó de acuerdo a la expresión matemática:

$$Q_S = Q_l * N_L$$

Donde:

Q_S Caudal de la línea secundaria ($L h^{-1}$)

Q_l Caudal del lateral ($L h^{-1}$)

N_L Número de laterales (Unidad)

Nota: al tratarse de un sistema de riego que consta de tubería principal secundaria y laterales, se debe realizar el cálculo de la línea secundaria multiplicando el caudal de la lateral por el número de laterales funcionando simultáneamente.

Número de laterales funcionando simultáneamente

Se determina en razón que el caudal con el que se dispone no es suficiente para regar en un solo período toda la superficie de riego, y con este dato se conoce cuantas laterales funcionarían de acuerdo con el caudal que se dispone y el caudal de la lateral.

Se lo estima con la expresión:

$$NLRS = \frac{Q}{Ql}$$

Donde:

NLRS Número de laterales regadas simultáneamente

Ql Caudal del lateral ($L h^{-1}$)

Q Caudal disponible ($L h^{-1}$)

3.3.4. Diseño hidráulico.

El diseño hidráulico contribuye a determinar el dimensionamiento de todos los componentes que constituyen el sistema de riego, red principal, secundaria, laterales, pérdidas de carga en las tuberías y accesorios, con base a dos criterios: Las pérdidas de carga por fricción (hf) y la diferencia de presiones en cada lateral no deben superar el 20 % de la presión de servicio o nominal (Ps) del aspersor, y la velocidad del flujo debe estar entre 0,5 a 2,5 m/s, para ello se empleó la ecuación de Hazen–William, mientras que para corregir la pérdida de carga por fricción por longitud, en la tubería secundaria y lateral se utilizó al factor de corrección de Christiansen.

Pérdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías.

Para calcular las pérdidas de carga por fricción en las tuberías se utilizó la fórmula de Hazen-Williams para tuberías de PVC o Polietileno.

$$hf = J * L$$

Donde:

hf Pérdida de carga en la tubería para una longitud (m)

J Gradiente hidráulico ($m m^{-1}$)

L Longitud de la tubería (m)

El gradiente hidráulico se calculó utilizando la fórmula:

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

Donde:

- Q Caudal en (L h⁻¹)
- C Coeficiente de fricción
- D Diámetro interior de la tubería (mm)

Pérdidas de carga por fricción en la secundaria y lateral.

Las tuberías secundaria y lateral son de salidas múltiples y se determinó utilizando el gradiente hidráulico de las tuberías secundaria y lateral (J), multiplicando por la longitud de cada tubería, para ello se empleó la ecuación:

$$hf = J * L * F$$

Donde:

- hf Pérdida de carga en la tubería (m)
- J Gradiente hidráulico (m m⁻¹)
- L Longitud de la tubería (m)
- F Coeficiente de reducción de pérdidas de Christiansen (adimensional)

Coeficiente de Christiansen (F).

En este caso el primer aspersor se lo ubicó a una distancia igual a la mitad de la separación entre aspersores, (Ea/2), por ello se utilizó la fórmula:

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

Al tratarse de una tubería de multisalidas y como la lateral se ubicó al inicio de la secundaria se determinó el coeficiente utilizando la fórmula:

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

Donde:

- n Número de aspersores en el lateral
- B Factor que depende del material de la tubería

Presión al origen del lateral

Según la topografía del terreno, el recorrido de la tubería del lateral es en forma descendente, por lo que para determinar la presión se utilizó la fórmula:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4}hf - \frac{H_g}{2} + H_a$$

Donde:

$\frac{P_o}{\gamma}$	Máxima presión en el aspersor o en el origen del lateral (m)
$\frac{P_a}{\gamma}$	Presión de trabajo del aspersor (m)
$\frac{H_g}{2}$	Desnivel geométrico entre los extremos del lateral (m)
H_a	Altura del elevador (m)
hf	Pérdida de carga del lateral (m)

Presión al final del lateral

Se utilizó la siguiente expresión matemática.

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4}hf + \frac{H_g}{2}$$

Donde:

$\frac{P_n}{\gamma}$	Presión final del lateral (m)
$\frac{P_a}{\gamma}$	Presión de trabajo del aspersor (m)

3.3.5. Calidad del agua para riego.

La toma de muestras de agua se realizó en la Quebrada Chariguiña de donde es captada el agua hasta el predio, el muestreo se realizó con base a los conceptos y recomendaciones teóricas de la revista (INTA, 2011); se recogieron las muestras en una zona donde el agua estaba en movimiento evitando zonas estancadas, se tomó la muestra entre 5-15 cm por debajo de la superficie, en un recipiente de plástico de 1 litro de capacidad, el mismo se debe enjuagar varias veces con el agua a muestrear, la condición para realizar un buen muestreo es, llenar totalmente el recipiente, evitando dejar cámaras de aire en su interior, luego se almacenó y conservó en una hielera termo espuma flex T3, con hielo sintético por lo que se mantuvo una constante cadena de frío, dichas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Suelos, Foliar y Aguas de AGROCALIDAD de la ciudad de Quito para determinar: dureza, conductividad eléctrica, salinidad, pH, alcalinidad, relación entre sodio, calcio y magnesio del agua, relación de absorción del sodio (RAS) y sólidos totales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características hidrofísicas del suelo de la finca “Buenos Aires”

4.1.1. Descripción del perfil del suelo.

En la tabla 3 y 4, se detalla la descripción del perfil, horizontes y capas del suelo de la finca “Buenos Aires”.

Tabla 3

Descripción del perfil del suelo de la finca “Buenos Aires”.

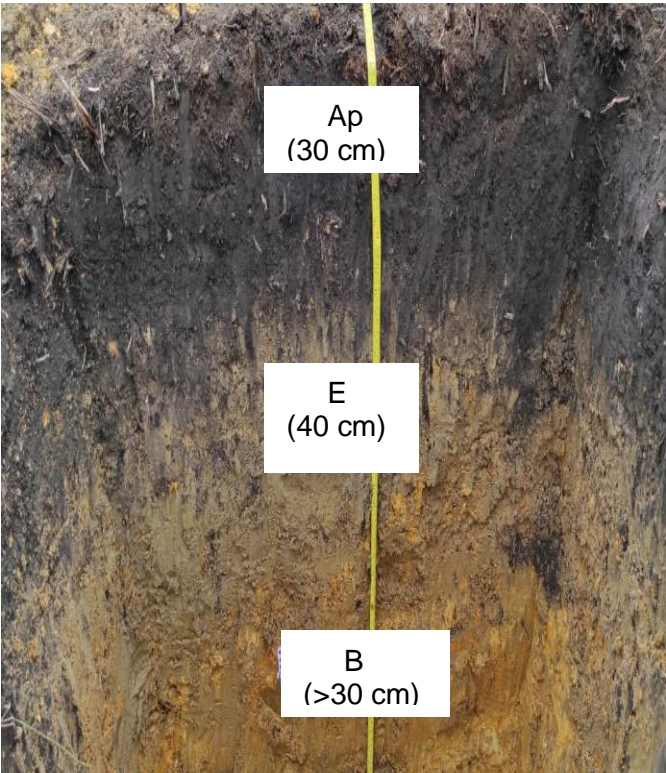
Altitud	2 828 msnm		
Coordenadas	699 826 E 9 603 953 N		
Pendiente	5 %		
Paisaje	Pie de monte		
Tipo de relieve	Vertiente cresta		
Forma del terreno	Pendiente baja		
Condiciones de humedad	Húmedo		
Pedregosidad superficial	0 %		
Tamaño	N/A		
Afloramientos rocosos	No		
Tipo	N/A		
Uso actual o cobertura vegetal		Sin uso	
Material parental		Rocas sedimentarias	
Presencia de sales o alcalis:	libre	Drenaje	bueno
Clasificación taxonómica USDA, (2014)		<i>Vertic Haplustalfs</i>	

Tabla 4

Descripción de los horizontes y capas del suelo de la finca “Buenos Aires”.

Horizonte y espesor (cm)	Color	Textura	Estructura y consistencia	Poros	Raíces	Límite
Ap 00 - 30	7,5 YR 1/7 Negro	franco arenoso	bloques subangulares, gruesos medios y finos Ligeramente adherente, no plástico, blando en seco.	abundantes medios, finos y muy finos	abundantes, medias, finas, muy finas	neto y plano
E 30 - 70	7,5 YR 8/3 Luz	arcilloso	prismáticas y columnares fuertes, con cutanes discontinuos delgados, y cementación fuerte, adherente, muy plástico, muy duro en seco.	frecuentes, muy finos, finos y gruesos	pocas, muy finas, finas y medias	brusco
B 70 - 100	7,5 YR 8/6 Naranja	arcillo arenoso	masivo, muy adherente, Ligeramente plástico. muy duro en seco	pocos y finos	muy pocas, finas y medias	brusco

En la finca “Buenos Aires” con pendiente del 5 %, el suelo es muy profundo, constituido por los horizontes genéticos: **Ap** de 30 cm de espesor, con bloques subangulares, se encuentra en la parte superficial y contiene gran porcentaje de materia orgánica, lo cual Valarezo-Manosalvas, (2016) afirma que “el horizonte **A** generalmente se lo denomina capa superior, es el horizonte superior mineral con acumulación de materia orgánica”; el horizonte **E** de 40 cm, con bloques prismáticos y columnares; generalmente se sitúa entre el horizonte **A** y **B**, con menos materia orgánica que el **A**. Además, son suelos muy arenosos y de colores muy claros (Cuenca, 2020); por su parte Valarezo-Manosalvas, (2016) refiere, los colores claros son el resultado de una gran lixiviación de arcilla, materia orgánica y otras sustancias químicas como el hierro. El horizonte **B** de más de 30 a 100 cm, es masivo, muy adherente y muy duro en seco; no contiene materia orgánica y con mayor cantidad de arcilla en relación al horizonte **E**, lo cual coincide con la descripción de Valarezo-Manosalvas, (2016); adicionalmente, Cuenca (2020) expresa que el horizonte **B** se lo puede llamar horizonte de

enriquecimiento en arcilla (iluvial o *in situ*), con un buen desarrollo de estructura edáfica típicamente en bloques angulares, subangulares y prismática.

4.1.2. Constantes hidrofísicas y físicas del suelo.

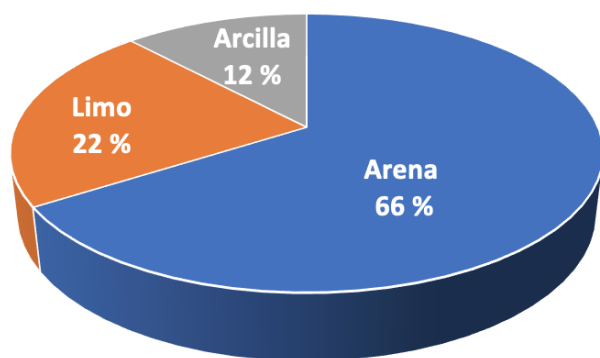
Para que las plantas se desarrollen se necesitan de condiciones adecuadas tales como proporciones adecuadas de agua, microorganismos, características de los minerales, entre otros. A $pF = 0$, el porcentaje de saturación fue de 66,04 % y cuando el drenaje ha terminado el máximo nivel de humedad que puede retener el suelo o CC a $pF = 2$ fue de 31,92 %; al respecto Holzmann (2015) indica, cuando el suelo se encuentra a CC comienzan a aparecer los poros con aire y se genera un ambiente favorable para el crecimiento de la planta; el agua restante corresponde al PMP a $pF = 4,2$ fue de 17,35 % que queda retenida fuertemente, tanto así, que las raíces no pueden vencer esta fuerza y su extracción será más difícil. Gualatti (2017), citado por Anguinsaca (2020) indica que, es importante conocer la capacidad de almacenamiento de agua del suelo con el fin de reponer la cantidad extraída por las plantas.

4.1.3. Propiedades físicas del suelo.

Las propiedades físicas se tienen relación con la productividad porque modifican el movimiento y almacenamiento del agua; en la figura 5 se presenta los porcentajes de las fracciones del suelo.

Figura 5

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



Fuente: Laboratorio de suelos foliares y aguas-Agrocalidad

4.2. Diseño del sistema de riego por aspersión

4.2.1. Caudal de la fuente de abastecimiento.

La fuente de agua que abastece a la finca “Buenos Aires”, es la quebrada Chariguiña, desde donde se transporta por medio de una manguera de 2” de diámetro; se realizó el aforo por el método volumétrico en época de estiaje (mayo a septiembre), con un caudal de $2,4 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ el cual sirve como referencia para el diseño del sistema de riego. A continuación, se presenta el cálculo realizado:

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{18}{7,3} = 2,4 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$$

4.2.2. Superficie a regar.

Figura 6

Foto panorámica del predio.

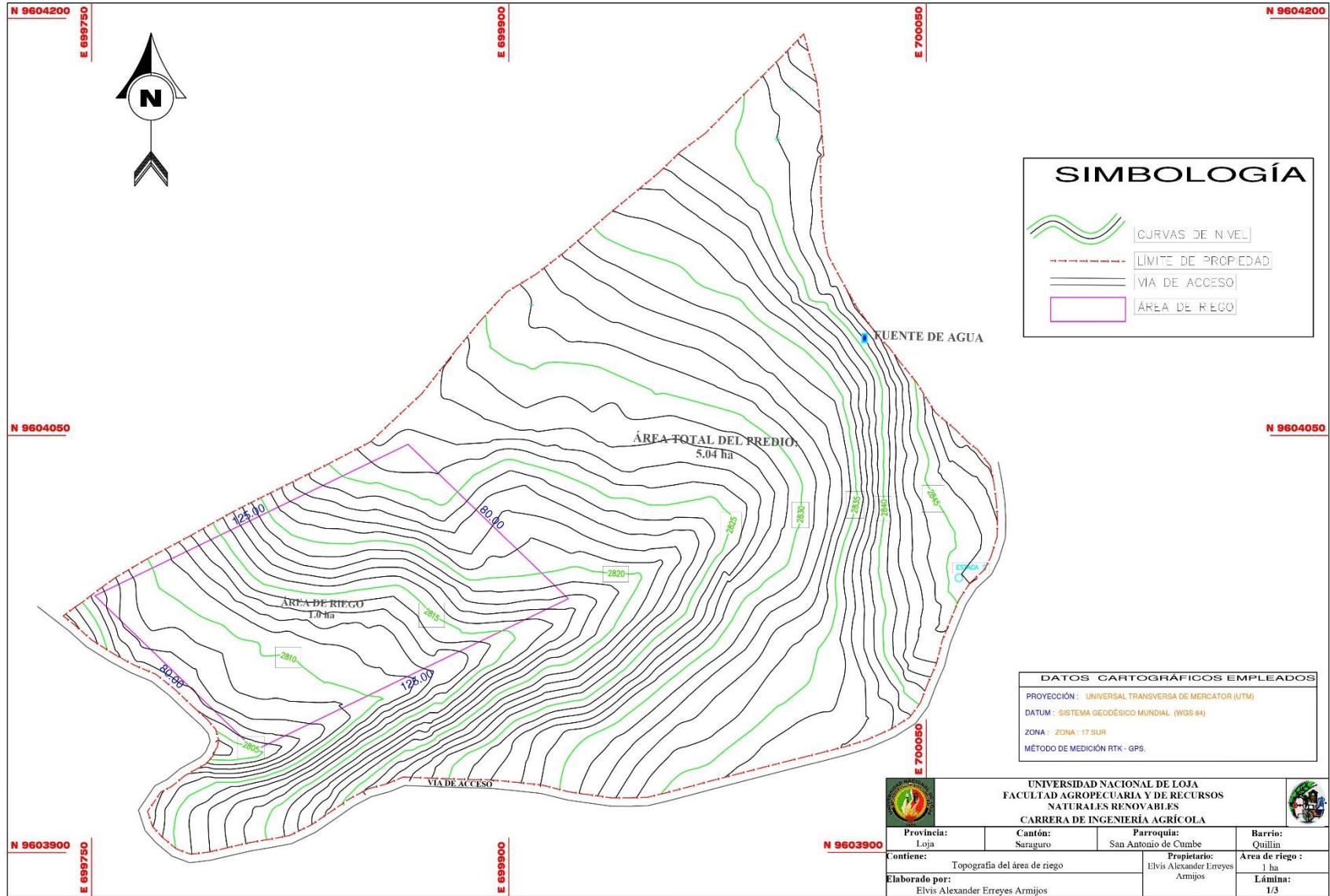


Fuente: El Autor

A partir del levantamiento topográfico, se obtuvo una superficie total del predio de 4 ha con curvas de nivel a cada 1,0 m y una pendiente de 4 % del cual se seleccionó 1 ha que fue contemplada para implementar pastos y cultivos y en ésta diseñar el sistema de riego, no se cubre toda la parte baja ya que se prevé realizar otras actividades y sobretodo el terreno es accidentado y con una pendiente fuerte, no resultando rentable invertir en la implementación de un sistema de riego.

Figura 7

Superficie del área de riego.

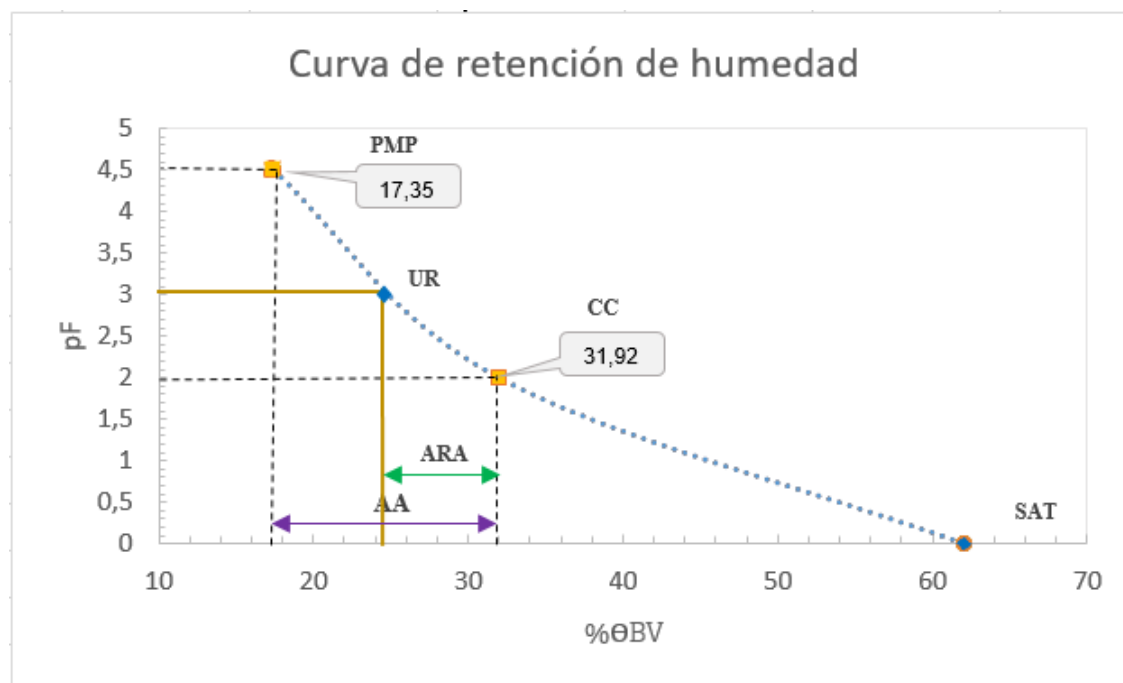


4.2.3. Curva de retención de humedad del suelo y evaluación de las condiciones físicas del suelo.

Con base a los estudios del suelo realizados se obtuvo el contenido de agua en el suelo y la clase textural (Figura 7).

Figura 8

Curva de retención de humedad del suelo.



La curva de retención de humedad del suelo es semejante a la de un suelo con textura franco arenoso; se obtuvo con las constantes hidrofísicas: CC = 31,92 % (pF = 2), punto de PMP = 17,35 % (pF 4,2) y al estado poroso del suelo o saturación de 66,04 %. A partir de estos parámetros se determinó el AA = 14,57 %, que representa la cantidad de agua fácilmente disponible para el desarrollo de la planta y se clasifica como alta. Por lo tanto, la proporción en la que se encuentren los componentes del suelo en estudio le van a conferir al mismo buenas propiedades físicas, ya que como es bien conocido el desarrollo de la parte aérea dependerá del desarrollo de la raíz, debido a que las plantas tendrán facilidad para la penetración de las mismas, con buena circulación del aire y una capacidad de almacenamiento de agua considerable, así como un buen drenaje, entre otros factores (Génova, s. f.).

Valarezo et al. (1998), señala que la distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo (sólida, líquida y gaseosa) a capacidad de campo, sirve para estimar la condición física del suelo en relación al crecimiento de las plantas; y, para su clasificación se utiliza el

diagrama triangular (Figura 3), el cual relaciona los valores porcentuales del volumen a capacidad de aireación, agua aprovechable y el volumen físicamente inerte del suelo, que es igual al volumen de sólidos más el volumen inútil de poros, con base a este criterio se tiene que la capacidad de aireación ($CA = 30,12\%$), se clasifica como muy alta o buena aireación en el suelo; el agua aprovechable y volumen de poros físicamente inerte ($VFI = 55,31\%$); volumen total de sólidos ($VTS = 37,96\%$); más el volumen inútil de poros, que corresponde al $PMP 17,35\%$; se clasificó dentro de la ZONA III, que según el diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo, esta zona se identifica como condición media (Anexo 2), que permite ciertas condiciones favorables para el desarrollo de las plantas y proporciona una buena circulación del agua y aire del suelo.

4.2.4. Velocidad de infiltración del agua en el suelo.

Para la velocidad de infiltración básica del agua en el suelo se realizaron 3 repeticiones en un tiempo atmosférico despejado o poco nublado sin precipitaciones en el suelo, cuya velocidad fue de $18,46\text{ mm/h}$ (Anexo 4), que según USDA (2014), para infiltraciones de $5 - 20\text{ mm/h}$, la velocidad de infiltración se considera moderadamente lenta, esta información se corrobora con Almazan (2003), que enuncia: para valores entre $1-18\text{ mm/h}$, corresponde a una velocidad de infiltración lenta, esto puede deberse al efecto que tienen los limos (22% en el presente suelo), que por lo general al ser fácilmente arrastrados por el agua tienden a taponar los poros, reduciendo el diámetro de los mismos y generando mayor tortuosidad al paso del agua (Ochoa, 2012).

4.2.5. Diseño agronómico.

En el diseño agronómico se determinó los requerimientos hídricos en la época de máxima demanda de agua por parte de los cultivos de papa y pasto, por ello se determinó primero las necesidades de agua de los cultivos y con base a esto los parámetros que se requiere en el sistema de riego.

Necesidades hídricas de los cultivos.

Para su determinación se obtuvieron los valores de:

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o)

Con los datos de temperatura y radiación solar de la estación meteorología de Saraguro y con el método de Hargreaves, se obtuvo los valores de ET_o en mm/día (Tabla 5).

Representados a continuación:

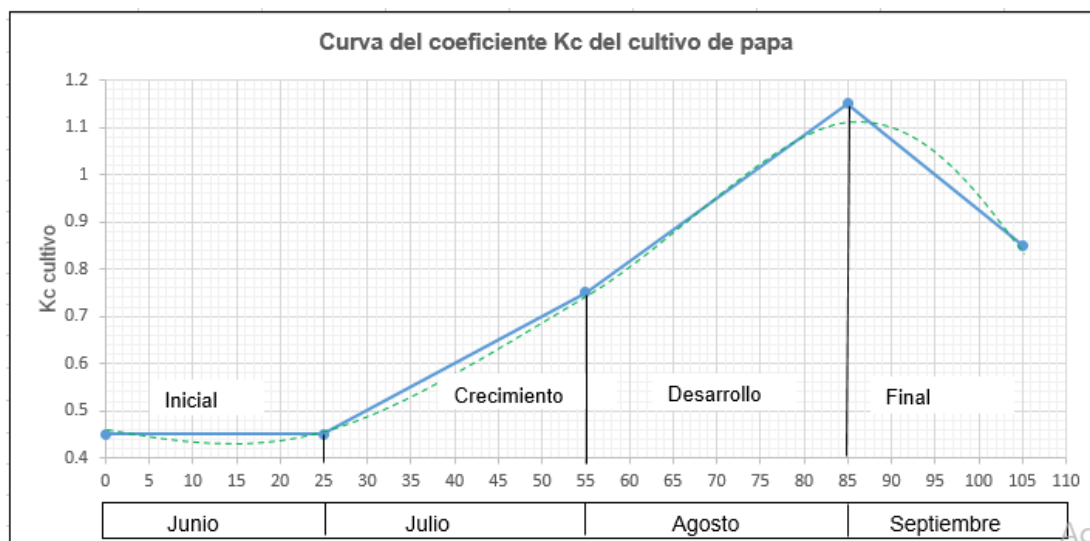
Tabla 5*Evapotranspiración de referencia.*

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
ETo(mm mes ⁻¹)	86,8	84	83,7	84	80,6	78	77,5	80,6	87	89,9	90	89,9
ETo(mm día ⁻¹)	2,8	3	2,7	2,8	2,6	2,6	2,5	2,6	2,9	2,9	3	2,9

Los valores de ETo comprendidos entre 2,5-3 mm día⁻¹ obtenidos en el presente estudio concuerdan con los valores encontrados por Salinas (2019) los mismos que fueron de 2.5- 3.1 mm día⁻¹ estos los adquiere mediante el lisímetro volumétrico en la parroquia San Antonio de Cumbe del cantón Saraguro a una altitud de (2 553 m.s.n.m.) con influencia de condiciones climáticas similares.

Coeficiente del cultivo (Kc)

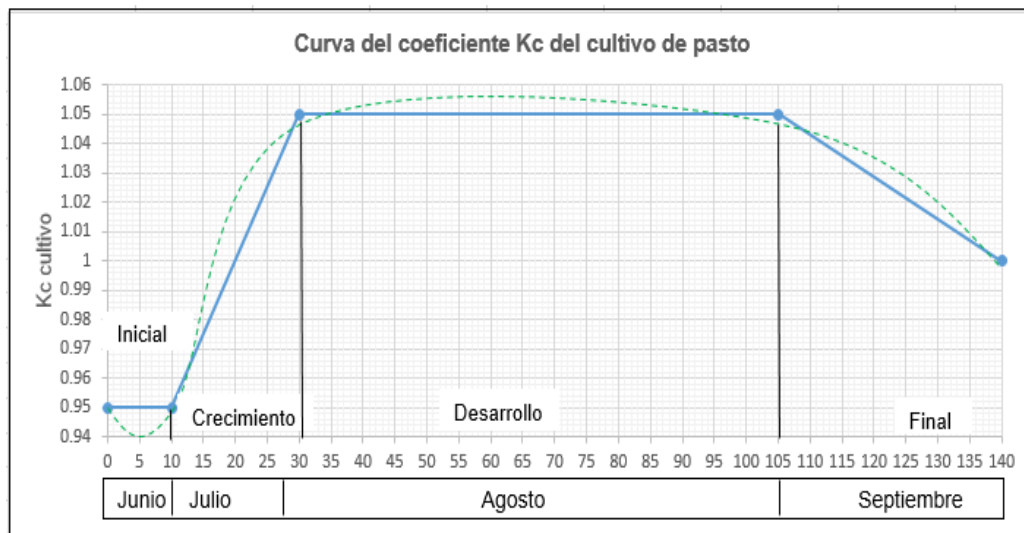
Como el diseño del sistema de riego por aspersion está orientado a satisfacer las necesidades hídricas del cultivo en la etapa de mayor necesidad de agua, el coeficiente del cultivo (Kc) corresponde al máximo valor mensual calculado. Para graficar la curva del kc se utilizó los resultados obtenidos de la relación de los valores de Kc proporcionados por la FAO en las diferentes etapas fenológicas (Figura 8 y 9).

Figura 9*Coeficientes del cultivo de papa (Kc).*

Con los datos obtenidos por la FAO, (2006b) se estimaron los coeficientes del cultivo de papa para sus diferentes etapas fenológicas: 0,45 para junio, 0,75 para julio, 1,15 para agosto y 0,85 para septiembre.

Figura 10

Coeficientes del cultivo de pasto (K_c).



Con los datos obtenidos por la FAO (2006b) se estimaron los coeficientes del cultivo de pasto para sus diferentes etapas fenológicas: 0,95 para junio, 1,05 para julio y agosto y 1,00 para septiembre.

Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Con los valores de la ET_o y K_c se calculó la ET_c (Tabla 6 y 7); la ET_c con mayor índice de requerimiento hídrico para el cultivo de papa corresponde al mes de agosto (2,99 mm/día); mientras que, para el pasto al mes de septiembre (2,90 mm día⁻¹)

Tabla 6

Evapotranspiración del cultivo de papa.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET_o (mm día ⁻¹)	-	-	-	-	-	2,60	2,50	2,6	2,90	-	-	-
K_c	-	-	-	-	-	0,45	0,75	1,15	0,85			
ET_c (mm mes ⁻¹)	-	-	-	-	-	1,17	1,88	2,99	2,47	-	-	-
ET_c (mm mes ⁻¹)	-	-	-	-	-	35,10	58,13	92,69	73,95	-	-	-

Tabla 7*Evapotranspiración del cultivo de pasto.*

MESES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo(mm día ⁻¹)	-	-	-	-	-	2,60	2,50	2,60	2,90	-	-	-
Kc		-	-	-	-	0,95	1,05	1,05	1			
ETc(mm mes ⁻¹)	-	-	-	-	-	2,47	2,63	2,73	2,90	-	-	-
ETc(mm mes ⁻¹)		-	-	-	-	74,10	81,38	84,63	87,00	-	-	-

Índice de humedad

En la tabla 8 se observa, que en la zona de estudio se dan precipitaciones máximas de noviembre a mayo con valores entre 69,3 a 57,1 mm/mes y precipitaciones mínimas de 29,3 a 32,0 mm/mes de junio a septiembre; en la mayoría de meses el índice de humedad presenta valores menores a 1,0; esto es, existe un déficit hídrico en gran parte del año. En estas consideraciones, se tomó los valores mínimos, que corresponden a los meses de junio a septiembre.

Tabla 8*Índice de humedad.*

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pm (mm mes ⁻¹)	69,5	100,1	134,5	134,5	57,1	42,6	29,3	24,8	32	50	69,3	94,3
ETo(mm mes ⁻¹)	86,8	84,0	84,0	83,7	80,6	78	77,5	80,6	87,00	89,9	90	89,9
I _h	0,80	1,19	1,19	1,61	0,71	0,55	0,38	0,31	0,37	0,56	0,77	1,05

Requerimientos hídricos del cultivo

Para 1,00 ha se requiere un volumen de agua máximo en el mes de agosto, para el cultivo de papa 2,30 mm/día y para pasto 2,03 mm/día y un mínimo en el mes de junio (Tabla 9).

Tabla 9

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

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
(Pm mes ⁻¹)	69,5	100,1	134,5	86,9	5,71	42,6	29,3	24,8	32	50	69,3	94,3
Pe(mm mes ⁻¹)	66,7	80,2	100,9	72,2	53,9	33,6	28,8	23,7	29,4	49,5	56,0	74,6
Papa	-	-	-	-	-	0,05	0,98	2,30	1,49	-	-	-
Pasto	-	-	-	-	-	1,35	1,75	2,03	1,92	-	-	-
Superficie (ha)	-	-	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-	-
Eficiencia	-	-	-	-	-	0,75	0,75	0,75	0,75	-	-	-

Parámetros de riego.

Lámina de agua aprovechable (LAA)

Cultivo de papa:

$$LAA = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{Da}{Dw} * P$$

$$LAA = \frac{(31,92 - 17,35)\%}{100} * \frac{0,75g}{cm^3} * 400 mm = 43,71 mm$$

Aplicando la misma ecuación, para el cultivo de pasto, $LAA = 45,90 mm$.

Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA)

Cultivo de papa:

$$LARA = LAA * UR$$

$$LARA = 43,71 mm * 0,5 = 21,86 mm$$

Cultivo de pasto:

$$LARA = 45,90 mm * 0,5 = 22,95 mm$$

Frecuencia de riego Fr

Cultivo de papa

$$Fr = \frac{LARA}{ETc_{max}}$$

$$Fr = \frac{43,71\text{mm}}{3 \text{ mm/día}} = 7 \text{ días}$$

Cultivo de pasto

$$Fr = 8 \text{ días}$$

Frecuencia de riego ajustada (Fr_j).

Para lograr que el sistema de riego sea práctico, se consideró la jornada de trabajo del agricultor, por ello se regará una vez por semana; con frecuencia de riego ajustada para papa 7 días y para pasto de 8 días.

Lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada ($LARA_{ajust}$).

En la finca "Buenos Aires" se dispone de agua todo el tiempo, por ello se considera una frecuencia de riego acorde a la disponibilidad y manejabilidad del sistema de riego; para papa 7 días con una lámina de 21,86 mm y para pasto 8 días con una lámina de 22,95 mm.

Cultivo de papa:

$$LARA_{ajust} = ETc_{max} * Fr_j$$

$$LARA_{ajust} = \frac{3\text{mm}}{\text{día}} * 7,28 \text{ días} = 21,86 \text{ mm}$$

Cultivo de pasto:

$$LARA_{ajust} = 22,95 \text{ mm}$$

Lámina de riego (Lr)

Se utilizó una eficiencia de aplicación del sistema de riego de 75 %, para mantener y garantizar una humedad óptima para el cultivo de papa y pasto, con lo cual se evita problemas de estrés hídrico.

Cultivo de papa:

$$Lr = \frac{LARA_{ajust}}{Ea}$$


$$Lr = \frac{21,86\text{mm}}{0,75 \text{ mm}} = 27,32 \text{ mm}$$

Cultivo de pasto:

$$Lr = 28,68 \text{ mm}$$

Selección del aspersor.

Tanto para el cultivo de papa como para el cultivo de pasto se seleccionó el mismo aspersor, ya que estos cultivos tienen similares características en requerimientos hídricos y profundidad radicular, entre otras. Se escogió en función del caudal, del diámetro húmedo y otras características que se detallan en el anexo 8, a continuación, algunas de ellas:

Marca:	Naandanjain 5022 SD M 3/4"	
Color:	Naranja	
Boquilla:	2,8 x 1,8	
Presión:	2 bares	
Caudal:	0,62 m ³ h ⁻¹	
Diámetro:	húmedo: 22 m	
Altura del elevador:	0,7 m	

Marco de riego.

En la zona de estudio existen velocidades del viento de alrededor del 3,5 m/s por lo que se considera el 50 % del diámetro húmedo que proporciona el aspersor, con el fin de obtener mayor uniformidad y evitar problemas de pérdidas de agua por la acción del viento, se consideró, la recomendación del fabricante, una distribución en cuadrado de (12 x 12) m (Anexo 12).

Intensidad de precipitación del aspersor (I_p).

Se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Condición } I_p \leq \text{VIB}$$

$$I_p = \frac{Qa}{S_a * S_l} * 1000$$

$$I_p = \frac{(0,62 \text{ m}^3/\text{h}) * 1000}{12 * 12} = 4,31 \text{ mm h}^{-1}$$

Se cumple con la condición de diseño, siendo 4,31 mm h⁻¹ menor a la velocidad de infiltración básica de 18,5 mm h⁻¹. Por tanto, se ha hecho una buena selección del aspersor y el marco de riego es correcto.

Tiempo de riego (T_r).

El tiempo de riego para el cultivo de papa es de 6,35 y pasto es de 6,66 horas, por ello se ha establecido un tiempo de riego para los dos cultivos de: 6,0 h. Se determinó con base

a la lámina de riego y la intensidad de precipitación, a través de la siguiente ecuación matemática:

$$T_r = \frac{Lr}{Ip}$$

$$T_r = \frac{27,32 \text{ mm}}{4,32 \text{ mm/h}} = 6,0 \text{ h}$$

Número de aspersores por lateral (N_{AL}).

De acuerdo a la longitud del terreno en dirección al lateral y al espaciamiento entre aspersores, se calculó el número de aspersores (Anexo 11).

$$N_{AL} = \frac{L_{TL}}{Sa}$$

$$N_{AL} = \frac{80}{12} = 6,67 \approx 7 \text{ aspersores}$$

Longitud del lateral (L_L).

Considerando la ubicación del primer aspersor de acuerdo a la disposición ($Sa \cdot 2^{-1}$) en este caso la ubicación es a la mitad de la separación entre aspersores, obteniendo una longitud del lateral de 80 m, de acuerdo a:

$$L_L = Sa * (N_{AL} - 0.5)$$

$$L_L = 12 * (7 - 0.5) = 80 \text{ m}$$

Caudal del lateral (Q_L).

Está en función de los aspersores ubicados en la lateral y el caudal distribuido, se calculó un caudal de $1,21 \text{ L s}^{-1}$

$$Q_L = Q_a * N_{AL}$$

$$Q_L = \frac{0,62 \text{ m}^3}{\text{h}} * 7 \text{ aspersores} = 1,21 \text{ L s}^{-1}$$

Número de laterales (N_L).

Se diseñó en función de la longitud del terreno, dirección del secundario y el espaciamiento entre laterales teniendo como resultado 10 laterales para el área del cultivo,

es decir, 5 laterales para cada cultivo.

$$N_L = \frac{L_s}{Sl}$$

$$N_L = \frac{125m}{12m} = 10 \text{ Laterales}$$

Caudal de la línea secundaria (Qs).

$$Q_s = Q_l * N_{LS}$$

$$Q_s = \frac{1,21L}{s} * 10 \text{ laterales} = 12,06 L s^{-1}$$

Número de laterales regadas simultáneamente.

$$NLRS = \frac{Q}{QL}$$

$$NLRS = \frac{8,64m^3/h}{4,3 m^3/h} = 2 \text{ laterales}$$

Por el caudal que se dispone se podrá regar con 2 laterales durante un tiempo de riego de 6 horas.

Número de laterales regadas en el día

$$NLRD = \left(\frac{Hmax_r}{T_r} \right) * NLRS$$

$$NLRD = \left(\frac{12 H}{6 H} \right) * 2 = 4 \text{ laterales } dia^{-1}$$

Como se tiene un caudal permanente se ha considerado 12 horas máximas de riego; por ello, en un día se podrá manejar 4 laterales, llegando a regar la superficie del cultivo en un tiempo estimado de 2,5 días.

4.2.6. Diseño hidráulico.

Las pérdidas por fricción de las tuberías principal, secundaria, lateral, succión y accesorios se determinaron en función del caudal, diámetro interno de las tuberías y el coeficiente de fricción, que para plásticos es 150, el mismo que es igual a la tubería de PVC. En cuanto a las velocidades de las tuberías se buscó mantener los rangos óptimos, menor a 2,5 m/s para tuberías principal y secundaria, para laterales tienen que estar entre 0,5 a 2,0 m/s. Cabe señalar que para el cálculo de caudal que pasará por la tubería secundaria, se trabajó con la sumatoria del caudal de los laterales funcionando simultáneamente.

Tabla 10

Pérdida de carga en la red de tubería, con el método de Hazen–Williams.

Tubería	Caudal (L s ⁻¹)	Longitud (m)	∅ Nominal (in)	∅ Externo (mm)	∅ Interno (mm)	Velocidad (m s ⁻¹)	J (m/100)	Hf (m)	F	Hf (m)
Principal	2,40	169.00	3	75	71,40	0,60	0,54	0,91		0,91
Secundaria	2,40	125.00	3	75	71,40	0,60	0,54	0,67	0,41	0,27
Lateral1	1,21	80.00	11/2	40	37,20	1,11	3,58	2,87	0,38	1,08
Accesorios										0,22
Hf Total										2,48

Condición de diseño

Se debe cumplir que la diferencia de presiones entre los aspersores con máxima y mínima presión, no deben de superar el 20 % de la presión nominal.

Presión al origen del lateral

$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} + \frac{3}{4}hf - \frac{H_g}{2} + H_a$$

$$\frac{P_o}{\gamma} = 20,39 + \left(\frac{3}{4} * 1,08\right) - \frac{4}{2} + 0,8 = 20$$

Presión al final del lateral

$$\frac{P_n}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma} - \frac{1}{4}hf + \frac{H_g}{2}$$

$$\frac{P_n}{\gamma} = 20,39 - \left(\frac{1}{4} * 1,08\right) - \frac{4}{2} = 22,12$$

Las presiones en el lateral deben cumplir la condición:

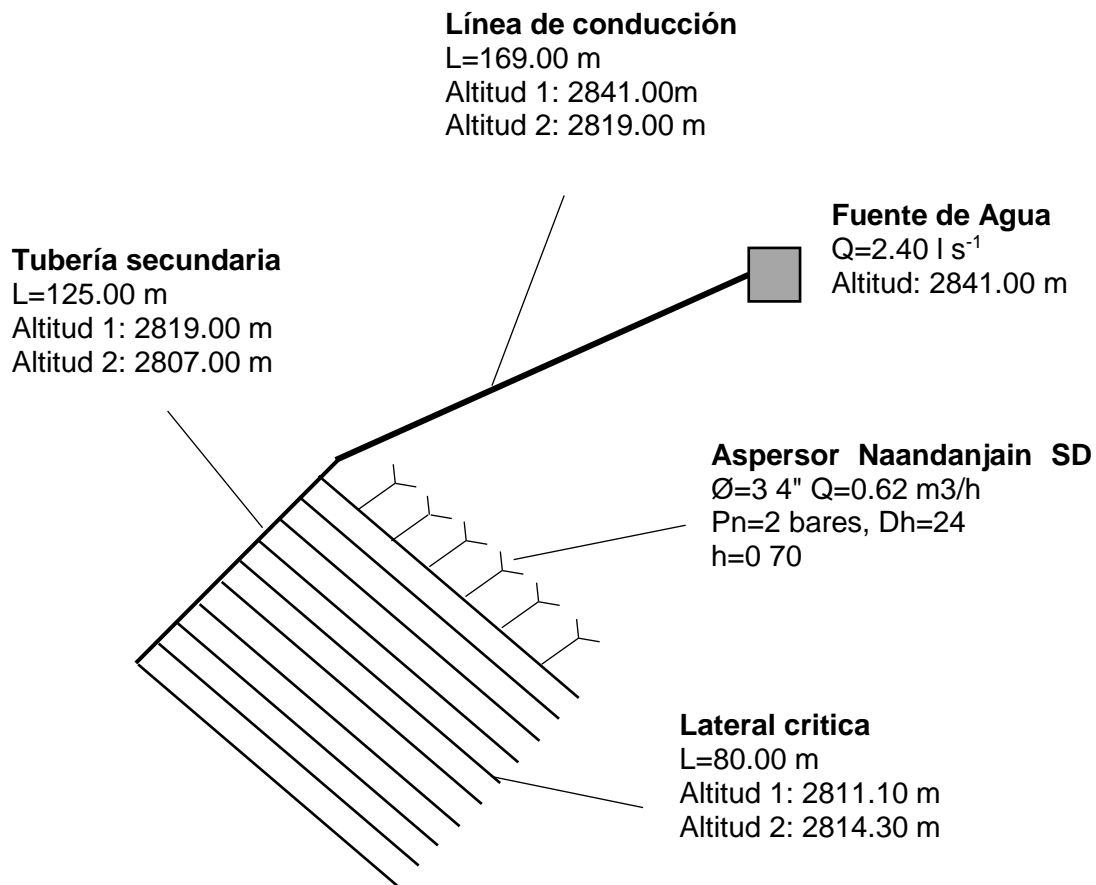
$$\frac{P_o}{\gamma} = \frac{P_n}{\gamma} = hf \leq 0,2 \frac{p_a}{\gamma}$$

$$20 - 22,12 = hf \leq 0,2 * 20,39$$

$$-2,12 \text{ m} \leq 4$$

El resultado negativo surge por la diferencia de nivel entre el inicio de la lateral y el fin de la lateral, se explica que la condición de diseño se cumple en la diferencia de presiones del lateral más crítico, teniendo que la pérdida en el lateral de 1,08 m, menor al rango permisible, de 4,0 m.

Trazado y ubicación de las tuberías y aspersores



4.2.7. Calidad del agua para riego.

El uso de agua de mala calidad puede ocasionar problemas en el suelo y en los cultivos; estos pueden ser problemas de salinidad; disminución de la tasa de infiltración, toxicidad específica sobre los cultivos y otros (Pérez y Calzadilla, 2011).

Dureza del agua

Las sales de magnesio y calcio, en particular son las causantes de la dureza del agua, y el grado de dureza es directamente proporcional a la concentración de estas sales. El agua de la quebrada Chariguiña, presenta un valor de dureza de: $1,77 \text{ mgCaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, según Zamora, (2009) se clasifica como agua blanda; por tanto, existe una cantidad relativamente baja de iones calcio y magnesio, así como una concentración insignificante de cloruro de sodio por consiguiente no existirá problemas de posibles precipitados en los emisores, y no influirá en el funcionamiento del sistema.

Salinidad

Las sales presentes en el agua o en el suelo reducen la disponibilidad de agua para el cultivo, provocan un estado de marchitamiento y afectan por tanto a los rendimientos. En este caso, se tiene un valor de $0,017 \text{ dS m}^{-1}$ de CE, valor que no representa riesgo para los cultivos, al respecto Redondo (2017) manifiesta, a partir de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ de CE se produce un peligro para los cultivos más sensibles a las sales; en este sentido, la papa y el pasto son tolerantes a la salinidad.

pH

El agua para riego tiene un pH de 7,39 (anexo 9), cercano a neutro; Redondo (2017) expresa, valores de pH comprendidos entre de 6,0 a 7,5, presenta menos problemas para los cultivos, ya que los nutrientes de las plantas, en general, presentan su máxima solubilidad.

Alcalinidad

El valor de la alcalinidad del agua de la quebrada Chariguiña es de 25 mg L^{-1} , de acuerdo con Bojórquez(2008), el 90 % de la alcalinidad del agua está relacionada con los bicarbonatos de calcio y magnesio cuyas concentraciones óptimas están en el rango de 50 a 150 mg L^{-1} ; sin embargo, algunos cultivos podrían ser más tolerantes a la alcalinidad que otros, dependiendo de la capacidad del sustrato, mientras mayor sea la capacidad del sustrato, mayor alcalinidad del agua pueden resistir los cultivos, como es el caso de papa y pasto.

Relación de adsorción de sodio (RAS)

El valor obtenido es de 0,52, que se encuentra en el rango ideal del agua de riego presentado por FERTILAB, (2020); esto es, entre: 3 a 9, que corresponde a un grado de restricción leve o moderado y un valor mayor a 9, como severo; por ello, que el agua de la zona de estudio no tiene ningún grado de restricción de uso agrícola, lo que permite utilizarla para el riego de los cultivos sin efectos negativos en la productividad.

El Carbonato de Sodio Residual (CSR)

Se obtuvo un valor menor a $1,25 \text{ meq L}^{-1}$, está dentro del rango de los valores deseados de Carbonato Sódico Residual, Rey (2019) señala, valores menores a $1,5 \text{ meq L}^{-1}$ del CSR, son aceptados para el riego; en tanto que valores superiores, son considerados como peligrosos, quedando así evidenciado que el agua de la quebrada Chariguiña, es buena y se podrá utilizar para uso agrícola sin que esta cause inconvenientes para el desarrollo de los cultivos.

Costos del sistema de riego

El diseño e implementación del sistema de riego por aspersión para 1 ha tiene un costo de \$ 3 705, 14 (Tabla 11 y 12).

El sistema de riego fue diseñado para aplicar agua de riego satisfaciendo las necesidades del cultivo y sin causar erosión o escurrimiento; así mismo el costo inicial de instalación del sistema de riego a simple vista parece elevado o muy costoso, sin embargo aquí se debe considerar la vida útil del mismo, por ello se prevé una durabilidad de por lo menos 12 años, esta estimación se la hace en base a lo enunciado por el NRCS (2013) al manifestar que la vida útil de un sistema de riego por aspersión es de entre 10 a 12 años por lo mínimo, entonces al hacer una reflexión se puede dar cuenta que la inversión es bien empleada y más aun sabiendo que la vida útil de este sistema se puede asegurar y normalmente aumentar al desarrollar y ejecutar un buen programa de operación y mantenimiento.

Tabla 11

Presupuesto del diseño para el sistema de riego por aspersión en la finca Buenos Aires.

Concepto	Valor total
A. Equipos e instalaciones	250
B. Sueldos	
B1. Personal técnico	400
B2. Personal auxiliar	20
C. Viajes	35
D. Servicios	30
E. Suministros	15
Total	750

Tabla 12

Presupuesto de materiales y accesorios para instalación del Sistema de Riego para una 1 ha.

Ítem	Rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
Preliminares					
1	Trazo y replanteo	Km	1,09	27,07	29,61
	Movimientos de tierra				
2	Excavación manual de zanjas	m ³	87,52	3,75	328,20
3	Cama de apoyo para tubería	m ³	10,94	2,28	24,94
4	Relleno y compactado de zanjas	m ³	76,58	3,42	261,90
Instalación de tubería					
Principal					
5	Tubo presión PVC EC d= 75mm, L=6m	U	29,00	13,26	384,54
6	Válvula de bola PVC 3"	U	1,00	15,80	15,80
7	Codo PVC presión E/C d= 75 mm	U	1,00	3,02	3,02
Secundaria					
8	Tubo presión PVC EC d= 75mm, L=6m	U	21,00	13,26	278,46
9	"T" Reductora PVC E/C 75 a 40 mm	U	10,00	2,10	21,00
Laterales					
10	Tubo presión PVC EC d= 40mmx1MP, L=6m	U	130,00	5,96	774,80
11	Válvula de bola PVC 1 1/2"	U	10,00	2,80	28,00
12	Collarín de toma PVC 40 mm-3/4"	U	70,00	2,60	182,00
Aspersores					
13	Tubo PVC presión roscable d=3/4"x6m 340p	U	49,00	8,74	428,26
14	Aspersor Naandanjain 5035 a impacto hembra de 3/4"	U	14,00	13,90	194,60
Precio total					2 955,14

Costos de producción del cultivo

Para lograr una producción óptima se ha considerado la aplicación de insumos, fertilizantes y abonos; así como prácticas agronómicas y culturales con la finalidad de incrementar la productividad.

Tabla 13*Insumos para la producción de papa en 0.5 ha.*

Rubro	unidad	Cantidad	costo unitario	costo total
Semilla	q	30	22	660,00
Fertilizantes orgánicos				
Retardo	kg	10	26	260,00
Gallinaza	kg	30	13	390,00
Fertilizantes inorgánicos				
Fertilizante 10-30-10	kg	20	28	560,00
Muriato de potasio	kg	15	26	390,00
Cal agrícola	kg	12	5	60,00
Insumos				
Bala 55	L	6	15	90,00
Fijador	L	6	3.5	21,00
Poncho de aguas	g	15	8.5	127,50
Fuerza verde	g	20	8	160,00
Subtotal				2 718,50

Mano de obra

En la tabla 14 se muestran los costos para cultivar 0,5 ha de papa en una campaña; considerando que la variedad chaucha de papa tiene un ciclo promedio de 3,5 meses, se prevé realizar tres campañas por año para aprovechar al máximo el suelo y el agua disponible.

Tabla 14*Mano de obra para la producción de papa.*

Rubro	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Mano de obra directa e indirecta	U	30	15	450,00
Fuerza de trabajo (Aradora)	h	6	17	102,00
Subtotal de mano de obra				552,00
Subtotal costos de producción (insumos + mano de obra)				3 270,50
10% imprevistos				327,05
Total de costos de producción				3 597,55

Para cultivar 0,5 ha de papa se han considerado factores como, la mano de obra directa e indirecta, en la agricultura es uno de los rubros más altos; esto da como resultado \$ 3 597,55/campaña (3,5 meses).

4.2.8. Utilidad en la producción de papa y pasto rye grass (*Lolium*) en un año.

Para realizar tres campañas de papa chaucha anualmente en 0,5 ha (Tabla 15), el costo de producción será de \$10 792,65 y las ganancias de \$ 7 207,35; aplicando esta proyección, el costo de producción para cultivar 0,5 ha de pasto rye grass (*Lolium*) será de \$ 283,00 y se espera tener cuatro cosechas anualmente; lo que da una producción de \$ 400,00 con una ganancia de \$ 117 por año; Por tanto, con los dos cultivos se espera obtener una ganancia anual de \$ 7 424,35.

La instalación de 1,00 ha de riego por aspersión tiene un costo de \$ 3 705,14; en estas consideraciones, la inversión se recuperará en seis meses; siempre y cuando se haga un correcto manejo del agua y el suelo; así como, adecuado plan de fertilización, cosecha y postcosecha. Al respecto, se reporta \$ 2 575,62 (Gallegos, 2016), \$ 3 778,05 (Torres, 2017), \$ 4 450,4 (Jiménez, 2019) para el costo de instalación de 1,00 ha; la variación de costos, se debe fundamentalmente, al material utilizado, situación geográfica y al año en que se realizó la instalación del sistema de riego por aspersión.

Tabla 15

Utilidad para la producción anual de papa.

Producto	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Valor total
Papa	q	1 800	10	18 000
Subtotal de ingresos				18 000
Ingreso neto				
Ingreso total anual				18 000
Costos de producción anual				10 792,65
Ingreso neto				7 207.35

5. CONCLUSIONES

- La superficie de cultivos que se van a implementar corresponde a 0,5 ha para papa y 0,5 ha para pasto, en función de las características del cultivo y suelo se seleccionó el sistema de riego por aspersión con una eficiencia de riego de 75 %.
- El suelo de la finca "Buenos Aires" tiene textura franco-arenoso, propiedades hidrofísicas: CC de 31,92 %; PMP de 17,35 %; AA de 14,57 %; CA de 30,12 %; densidad aparente de $0,75 \text{ g cm}^{-3}$; y, estado poroso o de saturación de 62,04 %. La evaluación de la condición física del suelo se ubica en la ZONA III y se clasifica como medio; no obstante, presta las condiciones adecuadas para el desarrollo de cultivos de ciclos cortos y perennes, particularmente maíz, papa, fréjol y forrajes.
- Para el riego se dispone de un caudal de $2,4 \text{ L s}^{-1}$ y velocidad de infiltración de $18,5 \text{ mm.h}^{-1}$
- En el diseño agronómico, se calculó una frecuencia de riego de 7 días, un tiempo de riego de 6 horas por posición del aspersor, se suministrará una lámina de riego de 27,32 mm, con un aspersor, modelo *Naandanjain* 5035 (SD $\frac{3}{4}$), dotando de una intensidad de precipitación de $4,31 \text{ mm.h}^{-1}$
- En el diseño hidráulico se determinó la red de tubería principal y secundaria, de PVC con un diámetro nominal de 3", lateral de PVC de 1 $\frac{1}{2}$ " y el elevador de PVC de $\frac{3}{4}$ "; obteniendo una pérdida de carga por fricción en las tuberías de 2,26 m y una pérdida por accesorios de 0,22 m.
- El agua de la quebrada Chariguiña, de donde se deriva el agua para el sistema de riego por aspersión, presenta una dureza de $1,77 \text{ mgCaCO}_3 \text{ L}^{-1}$, clasificándose como blanda, salinidad de $0,017 \text{ =dS m}^{-1}$, pH de: 7,39, alcalinidad de 25 mg L^{-1} , relación de absorción del sodio (RAS) de 0,52, carbonato de sodio residual (CSR) de $<1,25 \text{ meq/L}$ y un valor de sólidos totales de 53 mg L^{-1} .
- Dado que los parámetros que definen la calidad del agua para riego se encuentran entre los rangos aceptables, se concluye que el agua de la finca tiene las condiciones óptimas para favorecer el crecimiento de los cultivos, sin causar daños al suelo, así como garantizar el correcto funcionamiento del sistema de riego.
- La instalación de 1,00 ha de riego por aspersión tiene un costo de \$ 3 705,14; inversión que se espera recuperar en seis meses.

6. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que realicen estudios orientados al modernismo y automatización de sistemas de riego encaminados al aprovechamiento de energías renovables para el riego, de tal manera que los agricultores de la parroquia San Antonio de Cumbe consigan mejorar su productividad y calidad de vida.
- Por tratarse de cultivos de pasto y papa se recomienda enterrar la tubería a una profundidad de 0,35 m, para evitar daños por el pisoteo del ganado, maquinaria agrícola y por daños de agentes atmosféricos, como el sol.
- Realizar estudios de demanda de agua de los principales cultivos del sector con el fin de mejorar la gestión del recurso hídrico y aumentar la productividad.
- En el caso de no disponer de los cilindros Kopecky para la toma de muestras no disturbadas, puesto que únicamente dispone el laboratorio de suelos de la UNL, se recomienda construir los cilindros con acero inoxidable, considerando las medidas exactas.

7. BIBLIOGRAFÍA

- AGRICOLUM. (2016, julio 8). Importancia del riego de la patata en cada fase de crecimiento. *Agricolum*.<http://blog.agricolum.com/importancia-del-riego-de-la-patata-en-cada-fase-de-crecimiento/>
- Alocén, J. C. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Honduras, 218.
- Angella, G., y Frías, C. (2016, octubre 10). *Conceptos de las relaciones Agua-Suelo-Planta*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_conceptos_basicos_de_las_relaciones_agua_suelo_planta.pdf
- Anguinsaca, D. (2020). *Diseño, instalación y evaluación de un sistema de riego por goteo y microaspersión en el predio “La Dolorosa” de la parroquia Chuquiribamba, cantón y provincia de Loja* [Tesis, Universidad Nacional de Loja]. <https://dspace.unl.edu.ec>
- Antúnez, A., y Mora, D. (2010). *Eficiencia en sistemas de riego*. https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/06/EFICIENCIA_EN_SISTEMAS_DE_RIEGO.pdf
- Arroyo, M. M. (2017, septiembre 11). *El Riego Inteligente en la agricultura* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/riego-inteligente-agricultura>
- Bejar-Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., Luna Robles, E. O., Bejar Pulido, S. J., Cantú Silva, I., Yáñez Díaz, M. I., & Luna Robles, E. O. (2020). Curvas de retención de humedad y modelos de pedotransferencia en un Andosol bajo distintos usos de suelo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 11(59), 31-50. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i59.666>
- Bojórquez, F. (2008, noviembre 3). Parámetros de agua de riego. *Hortalizas*. <https://www.hortalizas.com/irrigacion/parametros-de-agua-de-riego/>
- Cadena, N. V. (2012). *Hablemos de riego* (Vol. 1). Ibarra, Ecuador: Creadores Gráficos.
- Cadena, V. H. (2016). *Hablemos de riego*. <https://isbn.cloud/9789942110541/hablemos-de-riego/>
- Calvache-Ulloa, Á. M. (2009). Manejo del Agua de Riego en Zonas de Ladera. *Eídos*, 2, 32-29. <https://doi.org/10.29019/eidos.v0i2.52>
- Carrazón, J. (2007). Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Agricultura y La Alimentación (FAO)*, 218.
- Carvajal, R. R. (2017). *Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos*. <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>. 24.
- Castro, J. (2013). *Producción y consumo de las pasturas del rejo lactante del cadet*. [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/971/1/T-UCE-0004-9.pdf>
- Catalán. (2018). *Análisis de aguas*. https://www.upct.es/~minaeees/analisis_aguas.pdf

- Chow, J. (2006). *Método Fácil de Diseño de Riego por Goteo MEFADERG Índice Contenido*.
https://www.academia.edu/35689307/M%C3%A9todo_F%C3%A1cil_de_Dise%C3%B1o_de_Riego_por_Goteo_MEFADERG_%C3%8Dndice_Contento
- Cisneros, R. (2003). *Apuntes de Riego y Drenaje*. <http://www.ingenieria.uaslp.mx>
- Cardozo, E. (2014). DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSION LA FINCA EL CEDRO UBICADA EN EL MUNICIPIO DE AQUITANIA
https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13035/die%2B-%C3%82%C2%AAo_sistema_de_riego_finca_el_cedro%5B1%5D.pdf?sequence=1&isAllowed=y. 38.
- COURSE HERO. (2016, julio 24). *Fases del suelo*.
<https://www.coursehero.com/file/p5lm59p/FASES-DEL-SUELO-La-Fase-s%C3%B3lida-La-fase-s%C3%B3lida-del-suelo-est%C3%A1-constituida-por/>
- Cuenca, M. (2020). *Libro de campaña para descripción y muestreo de suelos*.
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/19586/mod_resource/content/1/LIBRO%20DE%20CAMPA%C3%91A%20PARA%20DESCRIPC%C3%93N%20Y%20MUESTREO%20DE%20SUELOS.pdf
- Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Catamarca-La Rioja*, 24.
- EARTH OBSERVING SISTEM. (2020, septiembre 11). *Tipos De Cultivos Agrícolas: Elegir Bien Maximiza El Beneficio*. <https://eos.com/es/blog/tipos-de-cultivos-agricolas/>
- EL PRODUCTOR. (2019, febrero 12). *Ecuador: Balance en Papa 2019 | Noticias Agropecuarias*. <https://elproductor.com/2019/12/ecuador-balance-en-papas-2019/>
- Espino, R. (2016, septiembre 24). *Importancia del riego en los pastizales*.
<https://revistadegira.wordpress.com/2016/09/24/importancia-del-riego-en-los-pastizales/>
- Espinosa, M. (2011). *Diseño e instalación de un sistema de riego por aspersión para 50 Ha de cultivo de palma*. [Tesis, Escuela Superior Politécnica del Litoral].
<http://www.dspace.espol.edu.ec/>
- EUROSUR. (2015). *El riego en América Latina*.
http://www.eurosur.org/medio_ambiente/bif60.htm
- FAGRO. (2013). *Agua en el suelo*.
<http://www.fagro.edu.uy/hidrologia/paisajismo/AGUA%20EN%20EL%20SUELO.pdf>
- FAO. (2006a). *Evapotranspiración del cultivo*.
<http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.pdf>
- FAO. (2006b). *Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar*.
<http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s02.pdf>
- FAO. (2008). *La papa y los recursos hídricos—Año Internacional de la Papa 2008*.

- <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/agua.html>
- FAO. (2009). *Agua y Cultivos*. <http://www.fao.org/3/y3918s/y3918s10.htm>
- FAO. (2020). *Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Fernández, R., Oyonarte, N., García, J., Yruela, M., Milla, M., Avila, R., & Gavilan, P. (2010). *Manual de riego para agricultores: Módulo 3. Riego por aspersión /*.
https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersixn.pdf
- FERTILAB. (2020). *Cálculo del RAS en aguas de riego*.
<https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/CALCULO%20DEL%20RAS%20EN%20AGUAS%20DE%20RIEGO.pdf>
- Gallardo, G. (2007). *POLITICAS DE RIEGO EN EL ECUADOR*.
<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/9892/1/REXTN-ED14-05-Gallardo.pdf>
- Gallegos-Díaz, C. P. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de riego presurizado para pastos en la finca Landapo de la parroquia Lauro Guerrero, cantón Paltas, provincia de Loja* [Universidad Nacional de Loja].
https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12733/1/CRISTIAN_PEDRO_GALLEGOS_D%c3%8dAZ.pdf
- Génova, L. (s. f.). *RELACIONES AGUA-SUELO-PLANTA-ATMOSFERA*. 46.
- González, E. (2018, septiembre 17). *Aspersión: Ventajas del riego por aspersión y algunos inconvenientes*. Gardeneas. <https://gardeneas.com/ventajas-del-riego-por-aspersion/>
- Goyal, M. R., & Aladakatti, B. K. (2018). *Engineering Interventions in Sustainable Trickle Irrigation: Irrigation Requirements and Uniformity, Fertigation, and Crop Performance*. CRC Press.
- Gualatti. (2017). *Hablemos de riego*
<http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/HABLEMOS-DE-RIEGO-LOW.pdf>.
- Guamán, M. A. (2021). *Diseño de un sistema de riego por aspersión en el cultivo de maíz (Zea mays) en el predio agrícola "El Almendro" del barrio La Vega, parroquia y cantón Catamayo, provincia de Loja* [Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/23904/1/Maribel%20Andreina%20Guam%C3%A1n%20Zhingre.pdf>

- Guayasamín, J. (2020). *Diseño hidráulico para el mejoramiento y rehabilitación del sistema de riego de la comuna San Vicente Alto, ubicada en la parroquia Cangahua, cantón Cayambe, provincia de Pichincha-Ecuador* [Universidad Politécnica Salesiana].
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19353>
- Hargreaves, G., & Samani, Z. (1985). *Reference Crop Evapotranspiration from Temperature*.
<https://doi.org/10.13031/2013.26773>
- Herrera, J. (2010, octubre 11). APUNTES INGENIERÍA CIVIL: FASES DEL SUELO. *APUNTES INGENIERÍA CIVIL*.
<https://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2010/10/fases-del-suelo.html>
- Huber. (2015). *Diseño y operación de equipos de aspersión*.
https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/13254/mod_resource/content/0/9_Aspersion_final.pdf
- Hurtado, G. (2012). *Guía Técnica CULTIVO DE La Papa*
<https://cipotato.org/wpcontent/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>. 34.
- INIA. (2012). *Riego en cultivos y pasturas*
<http://inia.uy/en/Publicaciones/Documentos%20compartidos/18429080413094411.pdf>
 f. 124.
- INIAP. (2014). *Pastos*. <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mpasto/rpasto>
- INTA. (2011). *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-inta.pdf>
- INTA. (2015). *Relación-suelo-planta-agua*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_relacion-suelo-planta-agua.pdf. 7.
- Jiménez, R. A. (2019). *Diseño, implementación y evaluación de un sistema de riego por aspersión utilizando un equipo motobomba en la Finca San José* [Universidad Nacional de Loja].
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/22595/1/Robinson%20Andr%c3%a9s%20Jim%c3%a9nez%20Cumbicus.pdf>
- MAG. (2019). *Ecuador se proyecta a ser exportador de papa*.
<https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-proyecta-a-ser-exportador-de-papa/>
- Maldonado, T. (2012). *Texto Guía de Riego por Gravedad o Superficie*.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/12421/1/Jos%c3%a9%20Luis%20Rodr%c3%adguez%20Soto.pdf>
- Martínez, F., Iglesias-Rey, P., López, G., y Fuertes-Miquel, V. (2008). *Reducción de errores durante la automatización del proceso de simplificación de modelos para redes hidráulicas a presión*.

- <https://www.researchgate.net/profile/267388448/links/546098840cf295b5616222c8/pdf>
- Monge, M. A. M. (2018, julio 2). *Diseño agronómico e hidráulico de riegos: Contenido* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/disenio-agronomico-e-hidraulico-riegos-contenido>
- Mullo, J. I. (2016). *Diseño de un sistema de riego parcelario para la comunidad San Pedro, ubicada en la Parroquia La Matriz, Cantón Guamote* [Universidad San Francisco de Quito]. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5719/1/126383.pdf>
- NRCS. (2013). *Irrigation_brochure-Spanish.pdf*.
http://www.psi.gob.pe/docs/%5Cbiblioteca%5Cmanuales%5C2015%5Coperacion_laderas.pdf
- Ochoa, V. E. M. (2012). SUELOS PARCIALMENTE SATURADOS, DE LA INVESTIGACIÓN A LA CÁTEDRA UNIVERSITARIA. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, 31, 23-38.
- Olivieri, D. (2020, junio 19). La calidad del agua para riego. *SAB spa*.
<https://www.sabspa.com/es/la-calidad-del-agua-para-riego/>
- Ortiz, R. S. (2008). *Hidroponía en el suelo*.
<https://www.researchgate.net/publication/342570657> (primera).
- Oviedo, A., y Liotta, M. (2013). *Riego presurizado*. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_hoja_informativa_riego_por_goteo_olivo-_julio_.pdf
- PDYOT. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado de Loja*. 547.
- PDYOT. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la parroquia San Antonio de Cumbe*. 120.
- Peralta, M. (2001, febrero). *Riego por aspersión*.
<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/123456789/40180/NR26419.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pereira, L. S. (2010). *El riego y sus tecnologías*.
https://www.researchgate.net/publication/272171215_El_riego_y_sus_tecnologias. 296.
- Pérez, C., y Calzadilla, M. P. (2011). Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3), 19-23.
- Puñales, T. T., y Aguilar, C. B. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4(1), 46-61.

- Redondo, M. A. M. (2017, abril 24). *Interpretación de un análisis de agua para riego* [Text]. iAgua; iAgua.
<https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/interpretacion-analisis-agua-riego>
- Rey, I. (2019, abril 30). Carbonato Sódico Residual—Agua de Riego. *Tiloom*.
<https://www.tiloom.com/carbonato-sodico-residual-agua-de-riego/>
- Reyes. (2013, enero 7). La importancia del agua en el cultivo de papa. *INNOVAGRO*.
<https://innovagro.wordpress.com/2013/01/07/la-importancia-del-agua-en-el-cultivo-de-papa/>
- Román, M. (2003). Cultivo. En *The Free Dictionary*. <https://es.thefreedictionary.com/cultivo>
- Sánchez-Ledezma, W. S., & Mesen Villalobos, M. (2015). *Establecimiento y manejo del pasto kikuyo. | Alcances Tecnológicos*.
http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/81
- Salinas, J. (2019). Determinar los requerimientos hídricos del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.), mediante el lisímetro volumétrico en la parroquia San Antonio de Cumbe del Cantón Saraguro.
<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/19277/1/Janio%20Stalin%20Salinas%20Piedra.pdf>
- SECRETARÍA DEL AGUA. (2019). *Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019—2027*
<https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/2019/12/PNRD-2019-2027.pdf>.
 160.
- Silva, P. C., Silva, H. R., & Garrido, M. R. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*. 86.
- SIRHC. (2015). *Sistema de riego por microaspersión*.
<http://hidraulicayconstrucciones.com.mx/microaspersion.php>
- Solórzano, A. (2012). *Diseño e implementación de un sistema de riego por aspersión, en cacao (theobroma cacao l) en el campus de la espam-mfl* [Tesis, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí].
<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/19/1/Sol%C3%B2rzano%20Angulo%2C%20Ana%20Johana.pdf>
- Torres, I. A. (2017). *Diseño e instalación de riego por aspersión*.
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6960/6/TEORIA.pdf>
- USDA. (2014). *Departamento de Agricultura de los Estados Unidos Servicio de Conservación de Recursos Naturales Décima segunda Edición, 2014*. 410.
- Valarezo, C., Iñiguez, M., & Guaya, P. (1998). *Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador*.

- Valarezo-Manosalvas, C. (2016). *El suelo como recurso básico para el crecimiento de las plantas: Elementos sobre génesis, mineralogía, características fisicoquímicas y fertilidad*. Word.
- Valencia. (2015). *Historia Del Riego—Ensayos de Calidad—AYJER*.
<https://www.clubensayos.com/Historia/Historia-Del-Riego/2278979.html>
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., y Cañamero, M. (2017). *Fundamentos de la ingeniería de riegos*
<http://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/ingenieria-de-riegos.pdf>.
- Vega, I. (2010, noviembre 21). *Riego Por Aspersión—[PDF Document]*.
<https://cupdf.com/document/riego-por-aspersion-55a0c9a7298ee.html>
- Villafáfila, E., y Wyss, F. (2009). *Riego en horticultura*.
<https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-riego-en-horticultura.pdf>
- WIKIWATER. (2014). *E52 – Las técnicas de riego simples y eficaces*. Wikiwater.
<https://wikiwater.fr/E52-Las-tecnicas-de-riego-simples-y-eficaces>
- Yaguana, G. (2019). *El suelo en la parte superficial del ciclo hidrológico*
<https://www.redalyc.org/pdf/360/36021246006>. 86.
- Zamora, J. R. (2009). *Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia, cantón de Alajuela, noviembre del 2008*. 9(12), 10.
- Zapata, M. (1996). *Factores que intervienen en el coeficiente de uniformidad*.
https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp__2_.pdf

8. ANEXOS

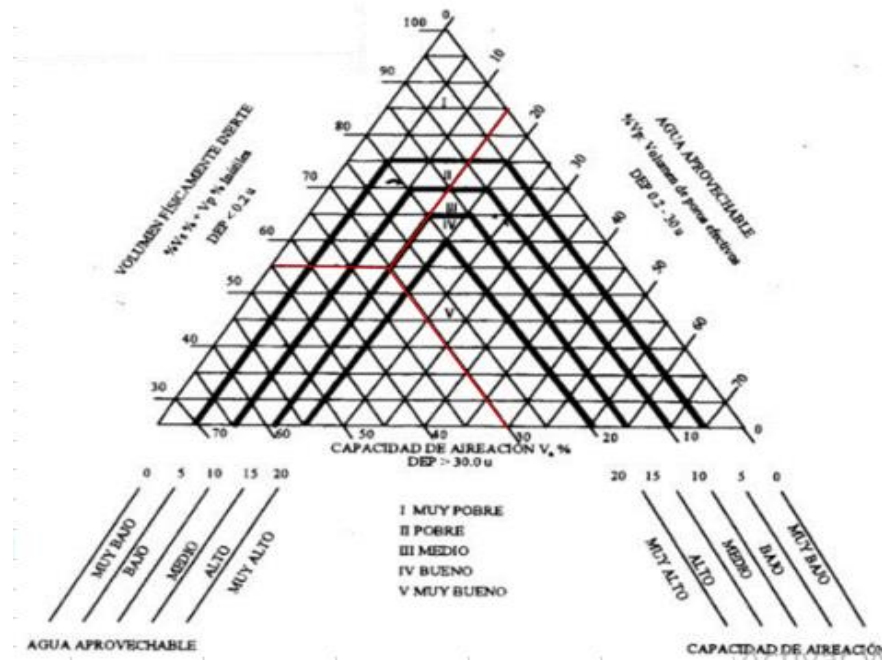
Anexo 1

Levantamiento topográfico.



Anexo 2

Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.



Volumen total de poros (VTP)

VTP = pF 0 (saturación = porosidad)

VTP = 62,04 %

Volumen total de sólidos (VTS)

VTS = 100 % – Saturación (macroporos + microporos)

VTS = 100 % – VTP

VTS = (100 – 62,04) %

VTS = 37.96 %, volumen ocupado por las partículas del suelo.

Capacidad de aireación (CA)

CA = Saturación – CC (Capacidad de campo)

CA = (62,04 – 31,92) %

CA = 30,12 %

Volumen físicamente inerte (VFI)

VFI = [100 – (VTP – PMP)]

VFI = [100 – (62,04 – 17,35)] %

VFI = 55,31 %

Anexo 3

Medición de la velocidad de infiltración.



Anexo 4

Datos de las pruebas de infiltración.

Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lamina infiltrada (cm)	I. Acum (cm)	Velocidad Inf.Inst. (cm/min)
5	5	0.9	0.9	0.18
5	10	0.5	1.4	0.1
5	15	0.3	1.7	0.07
5	20	0.7	2.4	0.13
5	25	0.4	2.8	0.07
5	30	0.4	3.2	0.08
5	35	0.4	3.5	0.07
5	40	0.3	3.8	0.06
5	45	0.4	4.2	0.07
5	50	0.4	4.6	0.09
5	55	0.2	4.8	0.04
5	60	0.2	5.1	0.05
10	70	0.5	5.5	0.05
10	80	0.4	5.9	0.04
10	90	0.6	6.5	0.06
10	100	0.5	7	0.05
10	110	0.5	7.5	0.05
10	120	0.3	7.9	0.03
15	135	0.4	8.3	0.03
15	150	0.3	8.5	0.02
15	165	0.4	9	0.03
15	180	0.4	9.3	0.02
30	210	1	10.3	0.03
30	240	1.1	11.5	0.04
60	300	2.3	13.8	0.04

Anexo 5

Velocidad de infiltración en el predio.

$I_{cum} = A * t^B$ Ecuación potencial negativa

$$A = 0,3269$$

$$B = 0,6588$$

$I_{inst} = a * t^b$ Ecuación potencial positiva

$$a = 0,21536172 \text{ cm/min} \quad a = A * (b + 1)$$

$$b = -0,3412 \quad b = B - 1$$

$$I_{basb} = a(-600 b)^b$$

$$\text{Para } I_{bas} = \frac{dI}{dT} - 0,1I$$

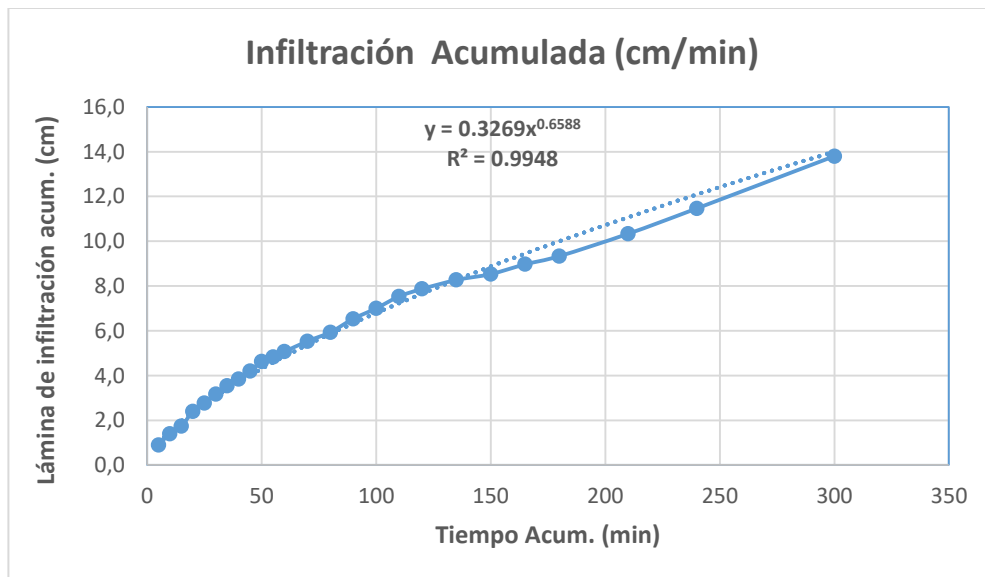
$$t_{bas}(h) = -10b$$

$$t_{bas}(h) = 3,412$$

$$I = 0,030759179$$

$$= 1,85 \text{ cm/h } B, \text{ permeable}$$

$$= 18,46 \text{ mm/h}$$



Anexo 6

Evapotranspiración de referencia, según el método de Hargreaves.

Mes	°C Temperatura Media Mensual	TMF Temper M. Mensual	HR% Humedad Relativa	CH Fact de Correc H°	CE Factor de Correc de Altitud	MF Factor Mensual de Evapot	ETo (mm/mes) Evapot Potenc	Eto (mm/día) Evapot Potenc
Ene.	14.4	57.97 °F	86.5	0.610	1.051	2.373	88.1 mm/mes	2.8 mm/día
Feb.	14.6	58.26 °F	85.9	0.624	1.051	2.165	82.7 mm/mes	3.0 mm/día
Mar.	14.7	58.37 °F	85.5	0.632	1.051	2.157	83.6 mm/mes	2.7 mm/día
Abr.	14.7	58.50 °F	85.5	0.632	1.051	2.157	83.8 mm/mes	2.8 mm/día
May.	14.6	58.29 °F	85.0	0.643	1.051	2.061	81.2 mm/mes	2.6 mm/día
Jun.	14.2	57.51 °F	85.0	0.643	1.051	2.006	77.9 mm/mes	2.6 mm/día
Jul.	13.7	56.57 °F	86.5	0.610	1.051	2.146	77.8 mm/mes	2.5 mm/día
Ago.	13.8	56.75 °F	87.0	0.599	1.051	2.242	80.0 mm/mes	2.6 mm/día
Set.	14.1	57.46 °F	86.5	0.610	1.051	2.393	88.1 mm/mes	2.9 mm/día
Oct.	14.6	58.32 °F	86.5	0.610	1.051	2.393	89.4 mm/mes	2.9 mm/día
Nov.	14.6	58.21 °F	85.5	0.632	1.051	2.307	89.2 mm/mes	3.0 mm/día
Dic.	14.6	58.33 °F	86.0	0.621	1.051	2.358	89.8 mm/mes	2.9 mm/día
								2.8 mm/día

Anexo 7

Datos de las fases fenológicas y Kc, para los cultivos de papa y pasto según la FAO (2006).

Etapas fenológicas	Duración (días)	Acumulado (días)	Kc
Fase inicial	25	25	0,45
Fase de crecimiento	30	55	0,75
Fase de desarrollo	30	85	1,15
Fase de final	20	105	0,85

Etapas fenológicas	Duración (días)	Acumulado (días)	Kc
Fase inicial	10	10	0,55
Fase de crecimiento	20	30	1,05
Fase de desarrollo	75	105	1,05
Fase de final	35	140	1

Anexo 8

Selección del Aspersor FAO (2006).

5022 SD-U



Sistemas IrriStand
Aspersor plástico a impacto
macho de 1/2" o hembra de 3/4"
Montado sobre el IrriStand 52,53
o en elevador

Aplicaciones: riego y germinación de vegetales, flores y cultivos de viveros.

- Diseño único de aspersor-martillo SD (super difusor) para un rango extra de cobertura
- SD - Diseñado para lograr un rendimiento óptimo y para disponer de una forma de corriente adecuada para bajas presiones. Una respuesta única al último tornillo difusor
- Gran uniformidad de distribución, hasta 12 metros
- Mayor resistencia al viento
- Diseñado para ciclos cortos de riego para germinación
- Boquillas a bayoneta codificadas por color para un sencillo servicio
- Materiales plásticos de alto impacto y alta carga de trabajo, resistentes a la corrosión, a los productos químicos y a la radiación

5022 SD-U Tabla de Rendimiento, Boquilla Doble, Corto SD (azul)
Precipitación (mm/h) Espaciamento (m)

Color de boquilla (mm)	P (bar)	Q (m ³ /h)	D (m)	Espaciamento (m)				
				9x9	9x10	10x10	10x12	12x12
2.5x1.8 Violeta	1.5	0.490	18.5	5.4	4.9	4.4	3.7	3.1
	2.0	0.480	19.5	5.9	5.3	4.8	4.0	3.3
	2.5	0.535	21.0	6.6	5.9	5.4	4.5	3.7
	3.0	0.590	21.5	7.3	6.6	5.9	4.9	4.1
	3.5	0.635	22.0	7.8	7.1	6.4	5.3	4.4
4.0	0.685	21.5	8.5	7.6	6.9	5.7	4.8	
R.C	30-50	0.590	21.0	7.3	6.5	5.0	4.9	4.1
2.8x1.8 Naranja	1.5	0.510	19.0	6.3	5.7	5.1	4.3	3.5
	2.0	0.620	20.0	6.9	6.2	5.6	4.7	3.9
	2.5	0.690	21.5	7.6	7.1	6.4	5.3	4.4
	3.0	0.760	22.0	8.5	7.7	6.9	5.8	4.8
	3.5	0.820	23.0	9.3	8.3	7.5	6.3	5.2
4.0	0.860	22.5	9.9	8.9	8.0	6.7	5.6	

Boquilla trasera: verde brillante - 1.8mm

Código de color - Uniformidad de distribución	CJ > 92%	CU 88-92%	CU 85-88%	CU < 85%
---	----------	-----------	-----------	----------



Anexo 9

Resultados de análisis de agua.

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSANITARIO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 023828860 Ext. 2080	PGT/SFA/09-FO03
		Rev. 5
	INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS	Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E21-0709
 Fecha emisión Informe: 10/06/2021

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Elvis Erreyes

Dirección¹: Venezuela y Panamá

Provincia¹: Loja

Cantón¹: Loja

Teléfono¹: 0991070020

Correo Electrónico¹: elvis.erreyes@unl.edu.ec

N° Orden de Trabajo: 11-2021-157

N° Factura/Documento: 012-001-0922, 0930

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra ¹ : Agua	Conservación de la muestra: En refrigeración hasta su análisis	
Provincia ¹ : Loja	Coordenadas ¹ :	X: ----
Cantón ¹ : Saraguro		Y: ----
Parroquia ¹ : Cumbe		Altitud: ----
	Lote ¹ : ----	
Muestreado por ¹ : Elvis Erreyes	Tipo de envase ¹ : Plástico	
Fecha de muestreo ¹ : 26-05-2021	Fecha de inicio de análisis: 28-05-2021	
Fecha de recepción de la muestra: 28-05-2021	Fecha de finalización de análisis: 10-06-2021	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-21-0735	EE01	pH a 25 °C	Electrométrico PEE/SFA/43	----	7,39
		Conductividad eléctrica	Conductimétrico PEE/SFA/44	dS/m	0,017
		Alcalinidad total	Volumétrico PEE/SFA/45	mgCaCO ₃ /l	25,00
		Carbonatos	Volumétrico PEE/SFA/45	mgCaCO ₃ /l	---
		Bicarbonatos	Volumétrico PEE/SFA/45	mgCaCO ₃ /l	25,00
		Cloruros	Volumétrico PEE/SFA/46	meq/l	0,24
		Dureza Cálcica	Cálculo PEE/SFA/48	mgCaCO ₃ /l	1,40
		Dureza Magnésica	Cálculo PEE/SFA/48	mgCaCO ₃ /l	0,37
		Dureza Total	Cálculo PEE/SFA/48	mgCaCO ₃ /l	1,77
		R.A.S.	Cálculo PEE/SFA/64	----	0,52
		C.S.R.	Cálculo PEE/SFA/64	meq/l	< 1,25
		Potasio	Absorción Atómica PEE/SFA/49	mg/l	1,12
		Sólidos Totales	Gravimétrico PEE/SFA/52	mg/l	53,00
		Sólidos Totales Fijos	Gravimétrico PEE/SFA/52	mg/l	8,00
Sólidos Totales Volátiles	Gravimétrico PEE/SFA/52	mg/l	45,00		

Analizado por: Katty Pastás, Pablo Atapuma

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

¹ Datos suministrados por el cliente: el laboratorio no se responsabiliza por esta información.

Anexo 10

Plano de levantamiento topográfico.

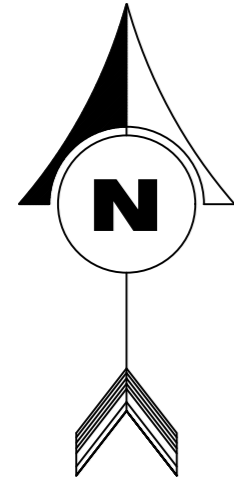
N 9604200

E 699750

E 699900

E 700050

N 9604200



SIMBOLOGÍA

-  CURVAS DE NIVEL
-  LÍMITE DE PROPIEDAD
-  VÍA DE ACCESO
-  ÁREA DE RIEGO

N 9604050

N 9604050

ÁREA TOTAL DEL PREDIO:
5.04 ha

ÁREA DE RIEGO
1.0 ha

ESTACA

DATOS CARTOGRÁFICOS EMPLEADOS

PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
 DATUM : SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL (WGS 84)
 ZONA : ZONA : 17 SUR
 MÉTODO DE MEDICIÓN RTK - GPS.

N 9603900

E 699750

E 699900

N 9603900



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
 NATURALES RENOVABLES
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Provincia: Loja	Cantón: Saraguro	Parroquia: San Antonio de Cumbe	Barrio: Quillin
Contiene: Topografía del área de riego		Propietario: Elvis Alexander Erreyes Armijos	Área de riego : 1 ha
Elaborado por: Elvis Alexander Erreyes Armijos		Lámina: 1/3	

Anexo 11

Plano del diseño del sistema de riego por aspersión.

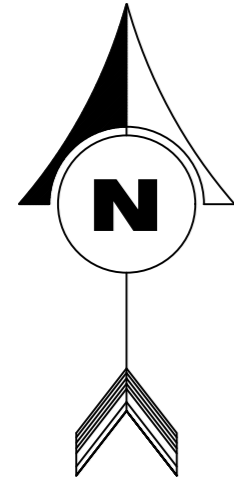
N 9604200

E 699750


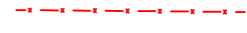









E 699900

E 700050

N 9604200

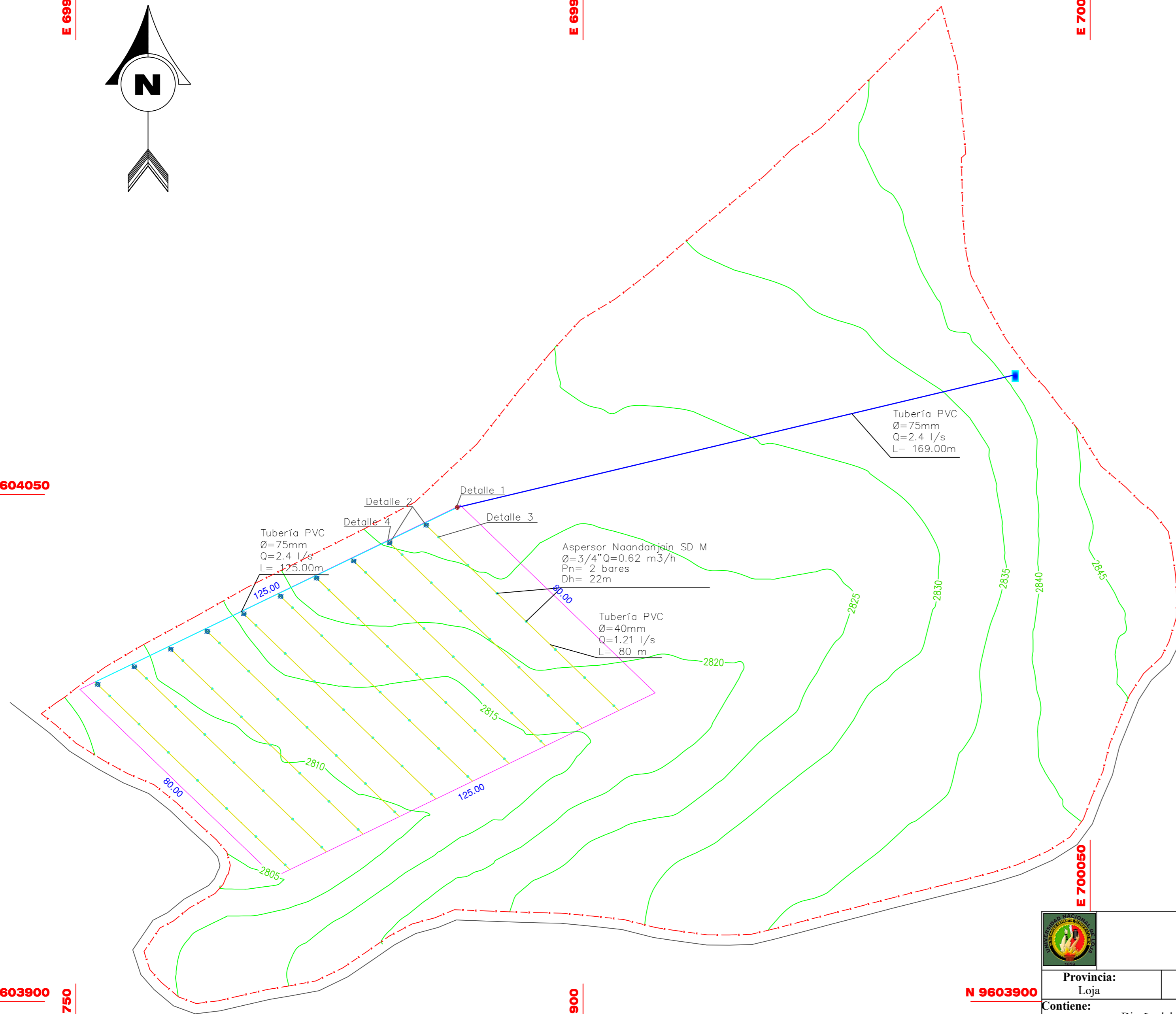


SIMBOLOGÍA

-  CURVAS DE NIVEL
-  LÍMITE DE PROPIEDAD
-  VÍA DE ACCESO
-  ÁREA DE RIEGO
-  TUBERÍA PRINCIPAL
-  TUBERÍA SECUNDARIA
-  LATERAL DE RIEGO
-  FUENTE DE AGUA
-  CABEZAL DE CONTROL
-  VÁLVULA DE CORTE
-  ASPERSOR

N 9604050

N 9604050



DATOS CARTOGRÁFICOS EMPLEADOS

PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
 DATUM : SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL (WGS 84)
 ZONA : ZONA : 17 SUR
 MÉTODO DE MEDICIÓN RTK - GPS.

N 9603900

E 699750

E 699900

N 9603900



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
 NATURALES RENOVABLES
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Provincia: Loja	Cantón: Saraguro	Parroquia: San Antonio de Cumbe	Barrio: Quillin
Contiene: Diseño del sistema de riego por aspersión		Propietario: Elvis Alexander Erreyes Armijos	Área de riego : 1 ha
Elaborado por: Elvis Alexander Erreyes Armijos		Lámina: 2/ 3	

Anexo 12

Diámetro húmedo del sistema de riego por aspersión.

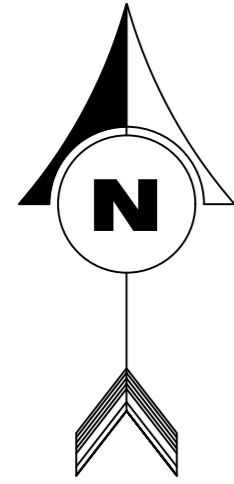
N 9604200

N 9604200




E 699750

E 699900

E 700050

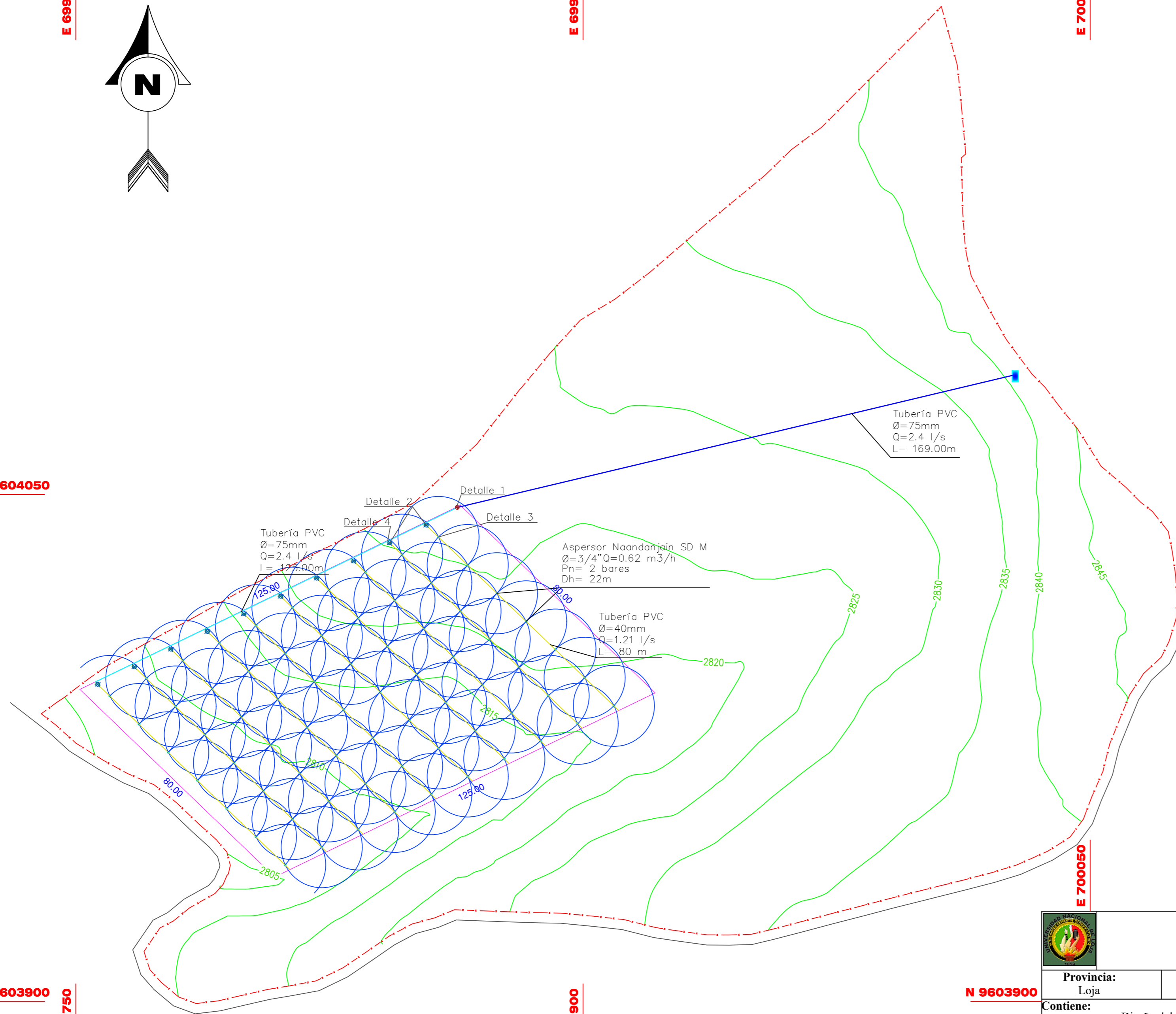


SIMBOLOGÍA

-  CURVAS DE NIVEL
-  LÍMITE DE PROPIEDAD
-  VÍA DE ACCESO
-  ÁREA DE RIEGO
-  TUBERÍA PRINCIPAL
-  TUBERÍA SECUNDARIA
-  LATERAL DE RIEGO
-  FUENTE DE AGUA
-  CABEZAL DE CONTROL
-  VÁLVULA DE CORTE
-  ASPERSOR
-  DIÁMETRO HÚMEDO
-  ASPERSOR SECTORIAL

N 9604050

N 9604050



Tubería PVC
 Ø=75mm
 Q=2.4 l/s
 L= 169.00m

Tubería PVC
 Ø=75mm
 Q=2.4 l/s
 L= 125.00m

Aspersor Naandanjain SD M
 Ø=3/4" Q=0.62 m³/h
 Pn= 2 bares
 Dh= 22m

Tubería PVC
 Ø=40mm
 Q=1.21 l/s
 L= 80 m

Detalle 1
 Detalle 2
 Detalle 3
 Detalle 4

DATOS CARTOGRÁFICOS EMPLEADOS

PROYECCIÓN : UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
 DATUM : SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL (WGS 84)
 ZONA : ZONA : 17 SUR
 MÉTODO DE MEDICIÓN RTK - GPS.

N 9603900

N 9603900

E 699750

E 699900



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
 FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
 NATURALES RENOVABLES
 CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Provincia: Loja	Cantón: Saraguro	Parroquia: San Antonio de Cumbe	Barrio: Quillin
Contiene: Diseño del sistema de riego por aspersión		Propietario: Elvis Alexander Erreyes Armijos	Área de riego : 1 ha
Elaborado por: Elvis Alexander Erreyes Armijos		Lámina: 3/3	

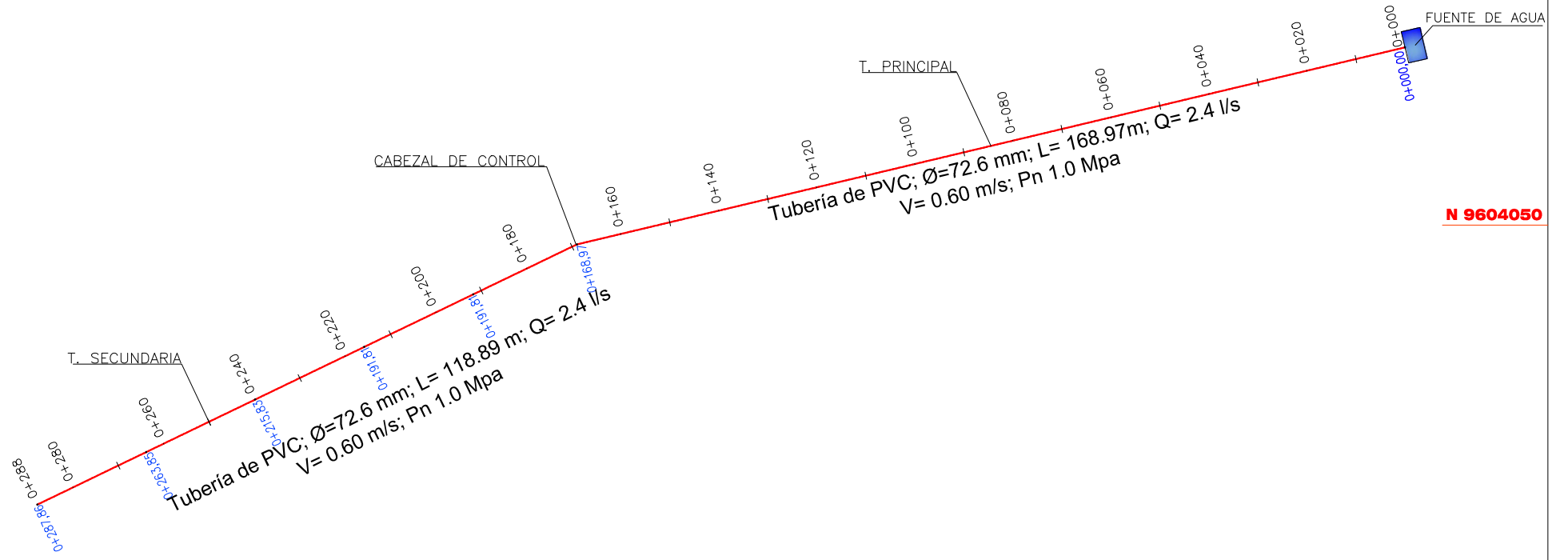
Anexo 13

Planimetría y perfil de la línea de conducción.

Planimetría de la línea de conducción

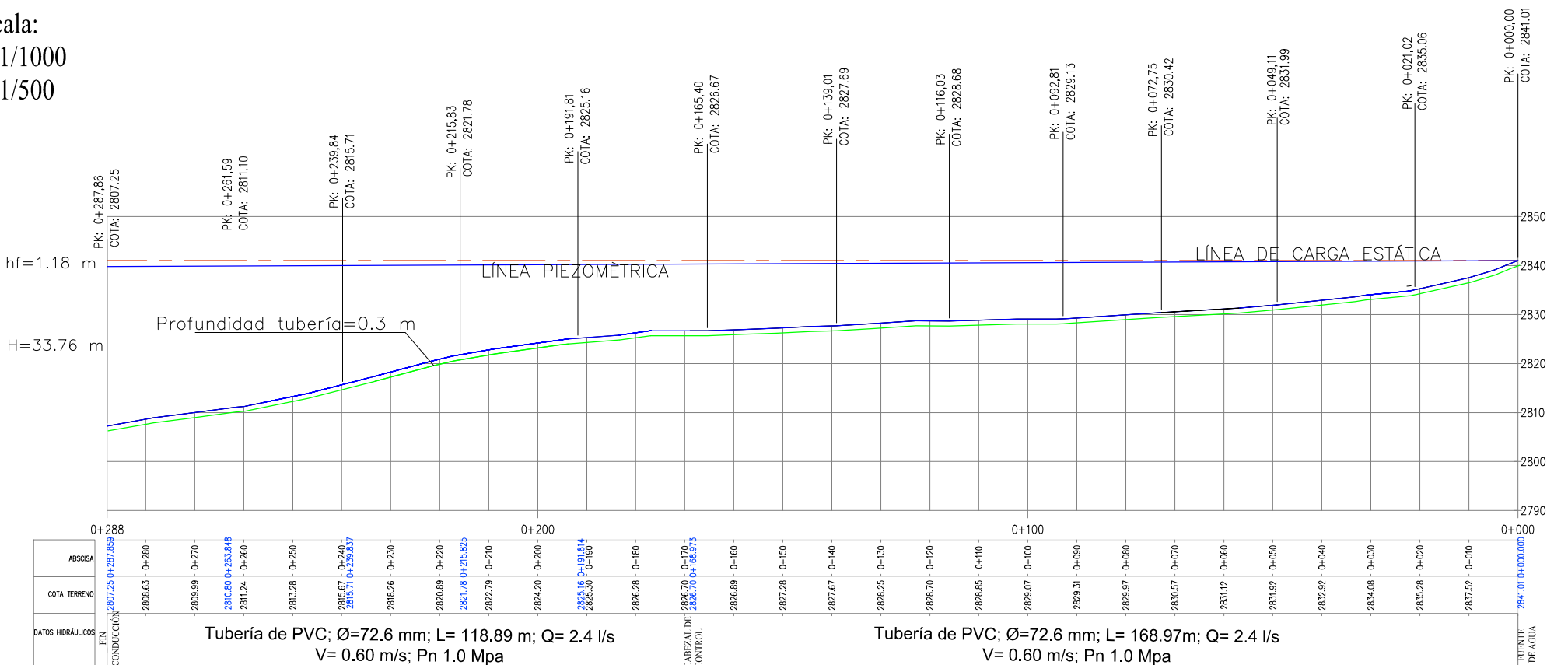
N 9604050

N 9604050



Perfil hidráulico de la línea de conducción

Escala:
H: 1/1000
V: 1/500



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



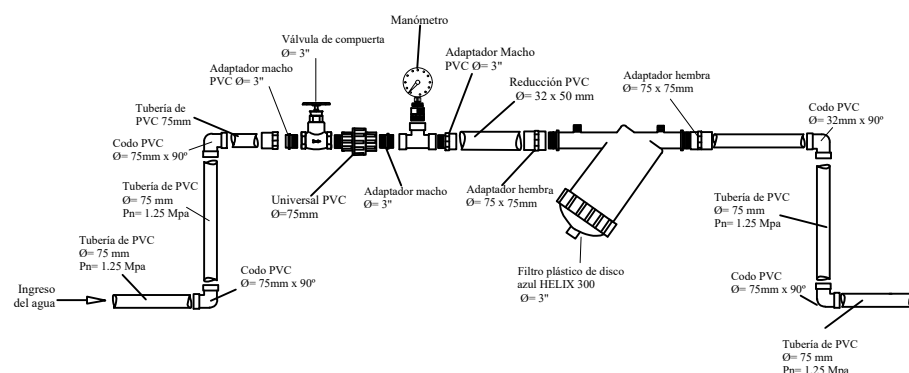
Provincia: Loja	Cantón: Saraguro	Parroquia: San Antonio de Cumbe	Barrio: Quillin
Contiene: Planimetría y perfil hidráulico de la línea de conducción principal y secundaria		Propietario: Elvis Alexander Erreyes Armijos	Área de riego : 1 ha
Elaborado por: Elvis Alexander Erreyes Armijos			Lámina: 1 / 1

Anexo 14

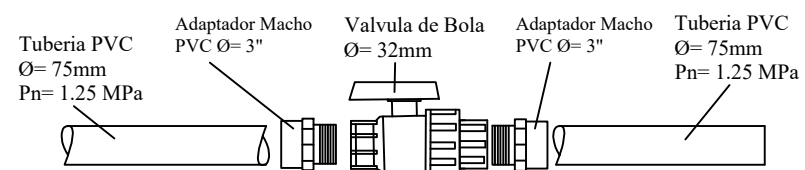
Detalles constructivos del sistema de riego por aspersión.

Detalles técnicos del sistema de riego por aspersión

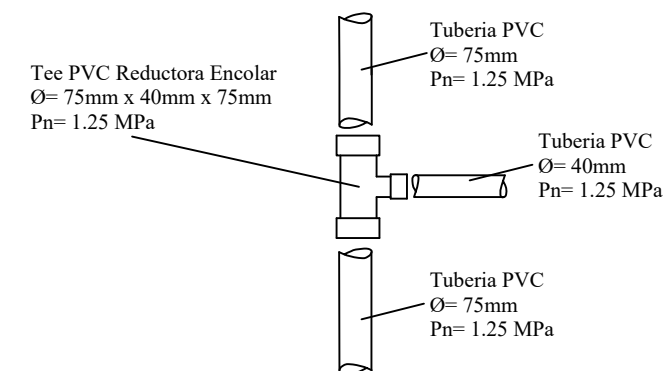
Detalle 1. Cabezal de control.



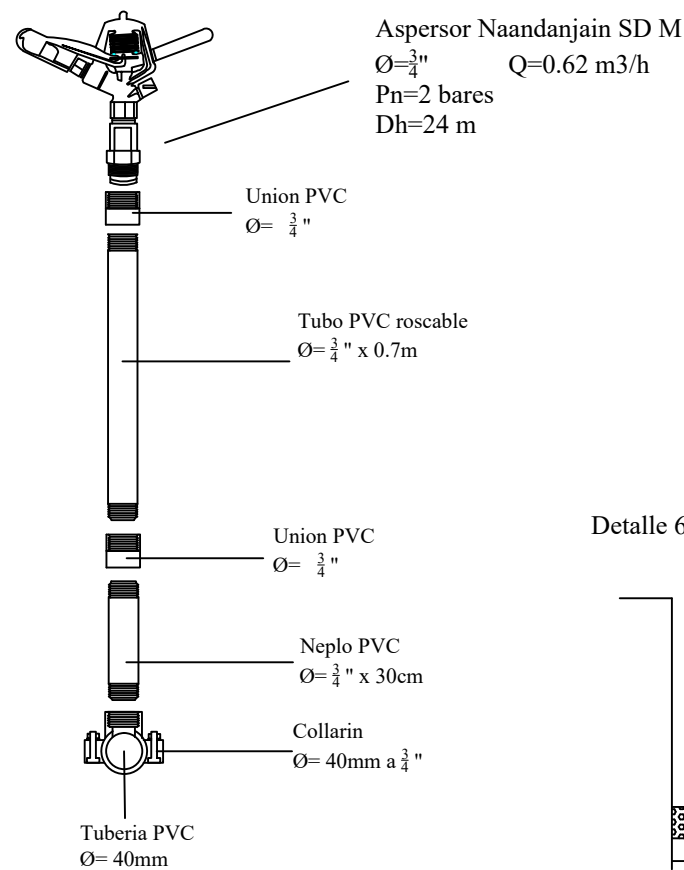
Detalle 2 . Válvula de corte



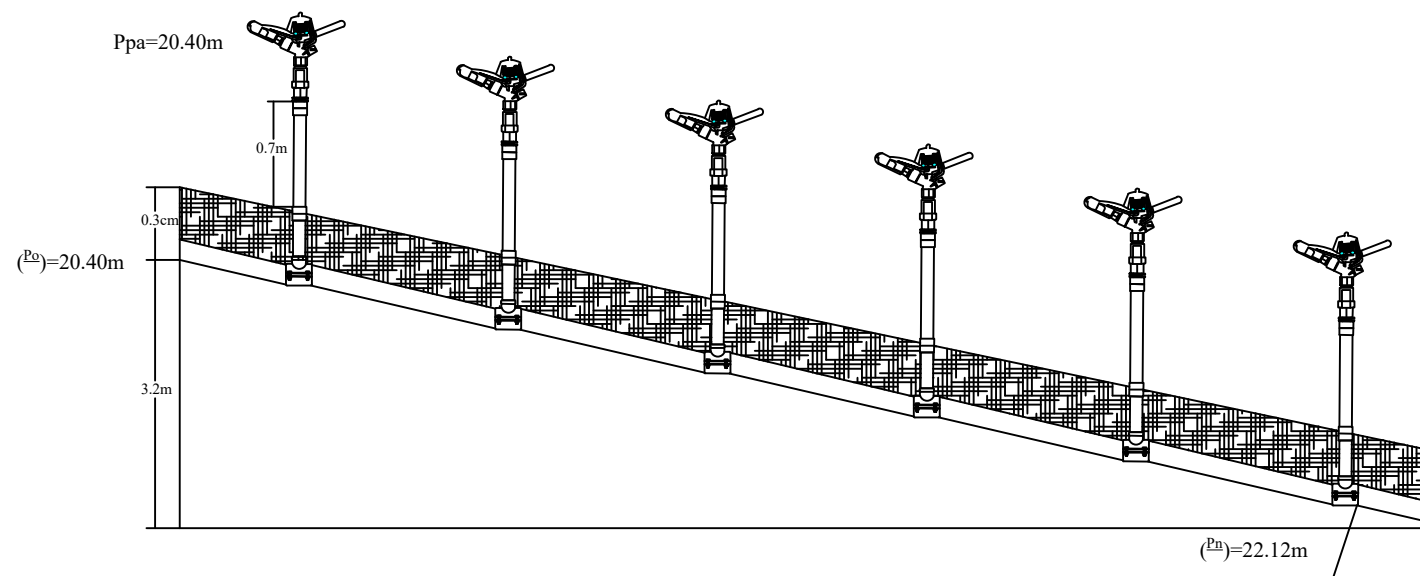
Detalle 4 . Salida de la lateral



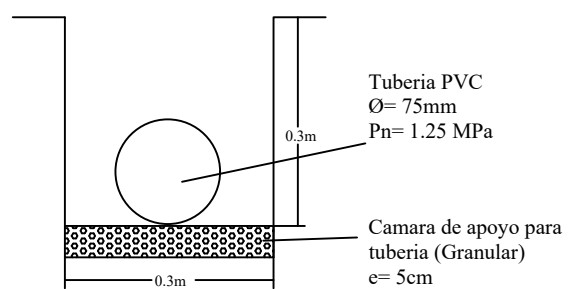
Detalle 3 . Aspersor



Detalle 5 . Presiones en el primer y ultimo aspersor



Detalle 6 . Tubería principal y secundaria



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA
FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS
NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Provincia: Loja	Cantón: Saraguro	Parroquia: San Antonio de Cumbe	Barrio: Quillin
Contiene: Diseño del sistema de riego por aspersión		Propietario: Elvis Alexander Erreyes Armijos	Área de riego : 1 ha
Elaborado por: Elvis Alexander Erreyes Armijos			Lámina: 1/ 1