



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

**Diseño de un sistema de riego por aspersión y plan de manejo
sostenible del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el barrio
Consapamba, cantón Espíndola**

Trabajo de Titulación previo a la
obtención del título de Ingeniero
Agrícola

AUTOR:

Carlos David Sabedra Guarnizo

DIRECTOR:

Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta, M.Sc.

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 01 de septiembre del 2023

Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta, M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño de un sistema de riego por aspersión y plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el barrio Consapamba, cantón Espíndola**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agrícola**, de la autoría del estudiante **Carlos David Sabedra Guarnizo**, con cédula de identidad Nro. **1104901135**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta, M.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Carlos David Sabedra Guarnizo**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1104901135

Fecha: 20 de octubre del 2023

Correo electrónico: carlos.sabedra@unl.edu.ec

Celular: 0993586669

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total
y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación**

Yo, **Carlos David Sabedra Guarnizo**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación: **Diseño de un sistema de riego por aspersión y plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (Zea mays) en el barrio Consapamba, cantón Espíndola**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio 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 del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintitrés días del mes de octubre del dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Carlos David Sabedra Guarnizo

Cédula: 1104901135

Dirección: El capulí

Correo electrónico: carlos.sabedra@unl.edu.ec

Celular: 0993586669

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta, Mg. Sc.

Dedicatoria

A ti abuelito, mi papi Carlin, que ya no estás aquí a mi lado para disfrutar juntos tan grato momento, a ti te dedico este trabajo por haber confiado en mí desde niño; quiero decirte que poco a poco lo logre, y que aquí estoy luchando por ser aquel hombre grande aquel que tú querías que fuera yo, un hombre íntegro, honesto, sencillo; solo te digo que aquí no termina esta lucha Carlin, donde estes, tratare de llenarte de alegrías.

A mis padres Benjamin y Romy más que dedicarles esto, se lo entrego, esto es suyo, gracias por la lucha, gracias a no dejarme caer nunca es que hemos logrado esto.

Dedico este trabajo a personas muy especiales a mi esposa, hijos, hermanas y de más familiares por acompañarme, apoyarme y brindarme el apoyo absoluto en este desafío.

Carlos David Sabedra Guarnizo

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja, a la facultad agropecuaria de recursos renovables y a la planta docente de la carrera de ingeniería agrícola que hicieron parte de este proceso de formación.

A mi Director del Trabajo de Titulación, Ing. Pedro Guaya Pauta por su buena voluntad y paciencia en la dirección de este trabajo.

De igual manera mi agradecimiento sincero a los Ingenieros Jimmy Cordero y Jorge Jaramillo, a mis compañeros Daniel Guamán y Pancho Guayanay por su desinteresada colaboración.

A sí mismo, a mi amor Vale, a mis hermosos hijos Benjamin y Aaron por su paciencia y por el tiempo que les he robado en el transcurso de esta etapa educativa; a mis familiares y amigos por el apoyo moral e incondicional.

Finalmente, y no menos importante; Quiero agradecerme por creer en mí, por hacer todo este gran trabajo, por nunca renunciar. Quiero agradecerme por tratar de hacer el bien más que el mal; por ser yo en todo momento gracias me lo merezco.

Carlos David Sabedra Guarnizo

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos.....	xiii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1 Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1 Suelo.....	6
4.1.1 Propiedades químicas.....	6
4.1.2 Propiedades físicas de suelo.....	7
4.2 Riego	10
4.2.1 Importancia de un buen riego en los cultivos.....	10
4.2.2 Riego por aspersión.....	10
4.2.3 Fuente de agua.....	11
4.2.4 Fuente de energía	11
4.2.5 Red hidráulica	12
4.2.6 Aspersores	12
4.2.7 Evolución del sistema de riego	12
4.2.8 Aplicación del agua en los sistemas de riego por aspersión	13
4.2.9 Clasificación de los sistemas de riego por aspersión	13
4.2.10 Ventajas y desventajas del riego por aspersión.....	14
4.2.11 Diseño agronómico	15
4.2.12 Parámetros de riego.....	17
4.2.13 Diseño hidráulico	20

4.3	Manejo sostenible del suelo	21
4.3.1	Medidas de conservación y mejoramiento de los suelos	21
4.4	Cultivo de Maíz.....	22
4.4.1	Origen y distribución.....	22
4.4.2	Taxonomía.....	22
4.4.3	Morfología	23
4.4.4	Requerimientos de clima y suelo	24
5.	Metodología	25
5.1	Descripción del área de estudio	25
5.1.1	Información climática	25
5.2	Identificación del área y fuente de agua del sitio	26
5.3	Materiales	26
5.3.1	Materiales de campo	26
5.3.2	Materiales de laboratorio.....	26
5.3.3	Material de oficina	26
5.4	Metodología para el primer objetivo.....	26
5.4.1	Descripción del perfil del suelo.....	27
5.4.2	Propiedades físicas	27
5.4.3	Velocidad de infiltración del agua en el suelo	28
5.4.4	Constantes hidrofísicas.....	29
5.4.5	Curva de retención de humedad del suelo.....	29
5.4.6	Propiedades Químicas	29
5.5	Metodología para el segundo objetivo	30
5.5.1	Medición del caudal de la fuente de abastecimiento.....	30
5.5.2	Topografía.....	31
5.5.3	Diseño agronómico	31
5.5.4	Diseño hidráulico	37
5.5.5	Calidad del agua para riego.....	39
5.6	Metodología para el tercer objetivo	40
5.6.1	Evaluación cualitativa	40
5.6.2	Evaluación cuantitativa	42
6.	Resultados	43
6.1	Resultados para el primer objetivo.....	43
6.1.1	Características físicas del suelo de la zona de estudio “Consapamba”	43

6.1.2	Propiedades físicas del suelo.....	44
6.1.3	Curva de retención de humedad.....	46
6.1.4	Propiedades químicas.....	46
6.2	Resultados del segundo objetivo.....	47
6.2.1	Caudal de la fuente de abastecimiento.....	47
6.2.2	Topografía.....	47
6.2.3	Diseño agronómico.....	47
6.2.4	Requerimientos hídricos del cultivo.....	49
6.2.5	Diseño hidráulico.....	50
6.2.6	Calidad del agua.....	51
6.2.7	Lista de materiales.....	52
6.3	Resultados para el tercer objetivo.....	54
6.3.1	Evaluación cualitativa.....	54
6.3.2	Evaluación cuantitativa.....	56
6.3.3	Plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz.....	56
6.3.4	Pasos del plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz.....	57
6.3.5	Obras biomecánicas para el manejo del suelo y los flujos de agua para el área de siembra de maíz y las zonas contiguas con riesgo de erosión.....	58
6.3.6	Abonar y fertilizar de forma adecuada su cultivo.....	59
7.	Discusión.....	61
7.1	Realizar la caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo del área de estudio.....	61
7.1.1	Descripción del perfil del suelo.....	61
7.1.2	Propiedades físicas del suelo.....	61
7.1.3	Propiedades químicas.....	62
7.2	Diseñar un sistema de riego por aspersión considerando las condiciones de la zona de estudio.....	63
7.2.1	Diseño agronómico.....	63
7.2.2	Parámetros de riego.....	63
7.2.3	Diseño hidráulico.....	64
7.2.4	Calidad del agua.....	65
7.3	Diseñar un plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (Zea mays) en el barrio Consapamba del cantón Espíndola.....	65
8.	Conclusiones.....	67

9.	Recomendaciones	68
10.	Bibliografía	69
11.	Anexos	76

Índice de tablas

Tabla 1.	<i>Descripción del perfil del suelo de la calicata uno predio “Consapamba”.</i>	43
Tabla 2.	<i>Descripción del perfil del suelo de la calicata dos, predio “Consapamba”.</i>	44
Tabla 3.	<i>Tabla de densidad aparente.</i>	44
Tabla 4.	<i>Tabla de textura del predio “Consapamba”.</i>	44
Tabla 5.	<i>Tabla de infiltración básica y su clasificación.</i>	45
Tabla 6.	<i>Valores de saturación, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del área de estudio.</i>	45
Tabla 7.	<i>Parámetros químicos analizados.</i>	46
Tabla 8.	<i>Macroelementos analizados.</i>	47
Tabla 9.	<i>Valores de evapotranspiración de referencia (ET_o).</i>	47
Tabla 10.	<i>Valores de Evapotranspiración del cultivo (Etc.) para la zona de estudio.</i>	48
Tabla 11.	<i>Índice de humedad.</i>	49
Tabla 12.	<i>Requerimientos hídricos del cultivo.</i>	49
Tabla 13.	<i>Parámetros generales de riego para el área de estudio.</i>	49
Tabla 14.	<i>Pérdida de carga en la red de tubería.</i>	50
Tabla 15.	<i>Presiones en la lateral más crítica.</i>	51
Tabla 16.	<i>Presupuesto para el diseño de riego por aspersión en el predio Consapamba</i>	52
Tabla 17.	<i>Diagrama de parcela y dinámica del suelo.</i>	54
Tabla 18.	<i>Evaluación calicata 1.</i>	55
Tabla 19.	<i>Evaluación calicata 2.</i>	55
Tabla 20.	<i>Distancia entre obras de conservación de suelo según el porcentaje de la pendiente.</i>	59
Tabla 21.	<i>Elementos nutritivos necesarios para el maíz.</i>	60
Tabla 22.	<i>Cantidad de fertilizante a utilizar.</i>	60

Índice de figuras

Figura 1. <i>Triángulo textural de los suelos.</i>	8
Figura 2. <i>Representación esquemática de la superficie regada por cada disposición.</i>	20
Figura 3. <i>Ubicación de área de estudio a nivel provincial, cantonal y parroquial.</i>	25
Figura 4. <i>Toma de muestras en el terreno en forma de zic zac.</i>	30
Figura 5. <i>Curva de retención de humedad del suelo.</i>	46
Figura 6. <i>Coefficiente K_c para el cultivo de Maíz.</i>	48

Índice de anexos

Anexo 1.	<i>Descripción de calicatas.</i>	76
Anexo 2.	<i>Pruebas de infiltración.</i>	77
Anexo 3.	<i>Levantamiento topográfico.</i>	78
Anexo 4.	<i>Datos meteorológicos estación Amaluza.</i>	78
Anexo 5.	<i>Fases fenológicas y kc del cultivo.</i>	78
Anexo 6.	<i>Velocidad de infiltración en el predio.</i>	79
Anexo 7.	<i>Ecuaciones utilizadas para el diseño agronómico.</i>	80
Anexo 8.	<i>Selección del aspersor.</i>	83
Anexo 9.	<i>Análisis de agua.</i>	84
Anexo 10.	<i>Análisis químico del suelo.</i>	85
Anexo 11.	<i>Análisis químico del suelo.</i>	86
Anexo 12.	<i>Topografía del área de estudio.</i>	87
Anexo 13.	<i>Tuberías principales, secundarias y terceras.</i>	88
Anexo 14.	<i>Diseño hidráulico.</i>	89
Anexo 15.	<i>Detalles.</i>	90
Anexo 16.	<i>Perfil de conducción.</i>	91
Anexo 17.	<i>Mapa de pendientes.</i>	92
Anexo 18.	<i>Certificación de traducción Abstract</i>	93

1. Título

Diseño de un sistema de riego por aspersión y plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el barrio Consapamba, cantón Espíndola.

2. Resumen

En el predio del barrio Consapamba del cantón Espíndola de la Provincia de Loja, donde la agricultura campesina convencional ha sido recurrente, el inadecuado uso del riego, así como el inexistente manejo sostenible del suelo ha sido parte de los productores a través del tiempo, debido a este escenario se realizó un diseño de un sistema de riego por aspersión y plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays*), para mejorar el uso eficiente del agua y la sostenibilidad del suelo; para cumplir este objetivo se realizó el estudio de las características físicas y químicas de los suelos mediante la descripción del perfil y la toma de muestras. En el diseño agronómico, se determinaron las necesidades de riego del cultivo; para la ETo se recurrió al método de Hargreaves como alternativa, este utiliza únicamente datos de temperatura y radiación solar de la estación meteorológica de Amaluza; a partir de los datos obtenidos por la FAO (2006) se graficó la curva del Kc del maíz y se determinó la evapotranspiración mensual 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 maíz de 36,45 mm; por tanto, se estableció una frecuencia de riego de seis días; y, el tiempo de riego de 8 horas. Para el diseño hidráulico, se estableció la red hidráulica principal, secundaria y lateral, con diámetros nominales de 71.40 mm, 71.40 mm y 47,20 mm respectivamente, mediante la fórmula de Hazen Williams; El agua de riego utilizada se encuentra en los rangos aceptables en sus propiedades físicas y químicas. En cuanto al plan de manejo del suelo se realizó un análisis cuantitativo y cualitativo los cuales permitieron proponer alternativas de manejo con relación a la pendiente; los cuales ayudaran a conservar las propiedades del suelo y a mejorar el rendimiento de la producción.

Palabras claves: Diseño, riego, aspersión, plan, sostenible.

2.1 Abstract

In the Consapamba neighborhood of Espíndola cantón, located in the Province of Loja, where conventional peasant agriculture has historically been practiced, issues related to inadequate irrigation practices and the lack of sustainable soil management have persisted among producers over time. In response to this situation, a design for a sprinkler irrigation system and a sustainable soil management plan were developed for maize cultivation (*Zea mays*) to enhance the efficient use of water and promote soil sustainability. To achieve this objective, a study of the physical and chemical characteristics of the soils was conducted through soil profile description and sample collection. In the agronomic design, the crop's irrigation requirements were determined. As an alternative method for estimating Evapotranspiration (ET_o), the Hargreaves method was employed, relying exclusively on temperature and solar radiation data from the Amaluza meteorological station. The K_c curve for maize was derived from data provided by the FAO (2006), and monthly crop evapotranspiration was calculated. Based on the results of the analysis of the soil's physical properties, the required irrigation depth for maize cultivation was determined to be 36.45 mm. Consequently, an irrigation frequency of six days and an irrigation duration of 8 hours were established. For the hydraulic design, the primary, secondary, and lateral hydraulic networks were established with nominal diameters of 71.40 mm, 71.40 mm, and 47.20 mm, respectively, using the Hazen-Williams formula. The irrigation water used falls within acceptable ranges in terms of its physical and chemical properties. Concerning the soil management plan, both quantitative and qualitative analyses were conducted, enabling the proposal of management alternatives related to slope that will help conserve soil properties and enhance production yields.

Keywords: Design, irrigation, sprinkler, plan, sustainable.

3. Introducción

Con el fin de producir alimentos para la población y dado al crecimiento constante de la misma; la agricultura se ha visto en la obligación de ser el mayor usuario de los recursos hídricos y conociendo que las aguas lluvias son un suministro universal que no se distribuye de manera uniforme en el tiempo y el espacio (Banco Mundial, 2022).

Por esa razón Kijne (2003), refiere que, hay zonas donde la cantidad y la distribución de las precipitaciones no proveen los requerimientos necesarios de agua a los cultivos, esta preocupación hizo que el hombre busque garantizar el abastecimiento artificial mediante riego a las superficies cultivadas.

En los últimos años la superficie de regadío del mundo es de 325,1 millones de ha, lo que representa el 20% de la tierra cultivable total y el 40% de la producción mundial de alimentos, de la cual el 70% del agua se utiliza para la agricultura de regadío en el mundo, utilizando principalmente el riego por gravedad (94 %) de áreas irrigadas y por aspersión o goteo en el 6% restante del área. La eficiencia media del riego en el mundo es de alrededor del 56% (Arroyo, 2017).

En el Ecuador la oferta hídrica ha sufrido una severa disminución, las demandas de agua para el riego se han aumentado; a inicios de los años 70, se estimaba que la superficie bajo riego en el país giraba alrededor de las 177 500 ha, mientras que en 2019 la superficie regada era aproximadamente 977 000 ha. Es decir, en cerca de cincuenta años la superficie regada se ha incrementado en aproximadamente 800 000 ha (Subsecretaría de Riego y Drenaje, 2019).

En la provincia de Loja la superficie cubierta por los sistemas de riego públicos transferidos y no transferidos es de 24 483,84 ha, de las cuales 15 496 ha son regables. En el cantón Espíndola se ha construido infraestructura de riego para el desarrollo agrícola, de las cuales se destacan 12 sistemas de riego entre públicos y comunitarios, beneficiando a las parroquias Amaluza, 27 de abril, Santa Teresita, El Ingenio y Jimbura; con una superficie total regada de 2 865.58 ha (Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Espíndola, 2020).

Los suelos de uso agrícola del sector “Consapamba” han sido trabajados a lo largo de los años bajo agricultura familiar campesina, los cuales usan el agua del sistema de riego Consapamba que nace del río del mismo nombre. El regadío que se realiza para producción del maíz y otros cultivos, es el de gravedad por medio de acequias de forma tradicional siendo esta

la causante de varios problemas como erosión del suelo, mal uso del agua, un bajo aprovechamiento del agua por los cultivos.

Por todo esto nace la necesidad de dar solución a estos problemas y con el afán de conservar las propiedades que aún se mantienen en el suelo para que la producción sea favorable en el pasar del tiempo se ha considerado plantear el **“Diseño de un sistema de riego por aspersión y plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el barrio Consapamba, cantón Espíndola”** con la finalidad dotar agua a la producción agrícola de forma eficiente, con técnicas que permitan manejar el tiempo, frecuencia y una distribución uniforme del recurso agua en la parcela.

Objetivos

Objetivo general

- Contribuir al uso eficiente del agua a través del diseño de un sistema de riego tecnificado y un plan de manejo de prácticas sostenibles del suelo para la producción de cultivo de maíz (*Zea mays*) en el barrio Consapamba del cantón Espíndola.

Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo del área de estudio.
- Diseñar un sistema de riego por aspersión considerando las condiciones de la zona de estudio.
- Diseñar un plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el barrio Consapamba del cantón Espíndola.

4. Marco teórico

4.1 Suelo

El suelo es la consecuencia de la transformación de la roca madre en el transcurso del tiempo y la influencia de diversos procesos físicos, químicos y biológicos. Así mismo el suelo está compuesto por partículas minerales, materia orgánica y agua en proporciones variables.

(Casas, 2012) menciona que:

Desde el punto de vista edáfico, un suelo es un cuerpo natural tridimensional formado por la progresiva alteración física y química de un material original o roca madre a lo largo del tiempo, bajo unas condiciones climáticas y topográficas determinadas y sometido a la actividad de organismos vivos, mantiene un continuo intercambio de materia y energía. Esto lo convierte en una pieza clave del desarrollo de los ciclos biogeoquímicos y a desempeñar su papel como filtro de la contaminación producida por compuestos orgánicos e inorgánicos, imposibilitando que alcancen las aguas subterráneas y el aire o que entren en la cadena alimenticia.

4.1.1 *Propiedades químicas*

Potencial hidrogeno (pH).

El potencial hidrogeno (pH) establece el grado de adsorción de iones hidrogeno por las partículas del suelo indicando si este es ácido o alcalino. Un valor del pH 7 se encuentra en estado de la neutralidad y normalmente en el suelo oscila entre 3,5 que corresponde a muy ácido a 9,5 que concierne a alcalino, y es el principal indicador en la disponibilidad de nutrientes para las plantas, influyendo en la solubilidad, movilidad, disponibilidad y de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (FAO, 2015).

Materia orgánica.

La materia orgánica del suelo se refiere a una mezcla homogénea de productos de descomposición, microorganismos y/o sustancias químicamente sintéticas, microorganismos vivos y muertos, pequeños animales y sus residuos de descomposición (Sánchez et al., 2005).

Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida de la cantidad de carga negativa en la superficie de los minerales y componentes orgánicos del suelo, y representa la cantidad de cationes que puede contener la superficie del suelo. Por consiguiente, Pérez et al. (2017) explica “La CIC estima los sitios de carga de las arcillas, tanto las cargas permanentes,

como las cargas dependientes de pH. Estos sitios de intercambio retienen por fuerzas electrostáticas a los cationes”.

Conductividad Eléctrica (CE).

La conducción eléctrica (CE) es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. En los suelos una conductibilidad eléctrica baja facilita la absorción de agua, el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo (Soto & Desamparados, 2018).

Saturación de bases.

La saturación de bases consiste en la suma de los cationes calcio, magnesio, potasio y sodio, dividido entre la CIC o CICE según sea el caso, este valor se expresa en porcentaje, de notando un alto valor una buena fertilidad del suelo (Toledo, 2016).

4.1.2 Propiedades físicas de suelo

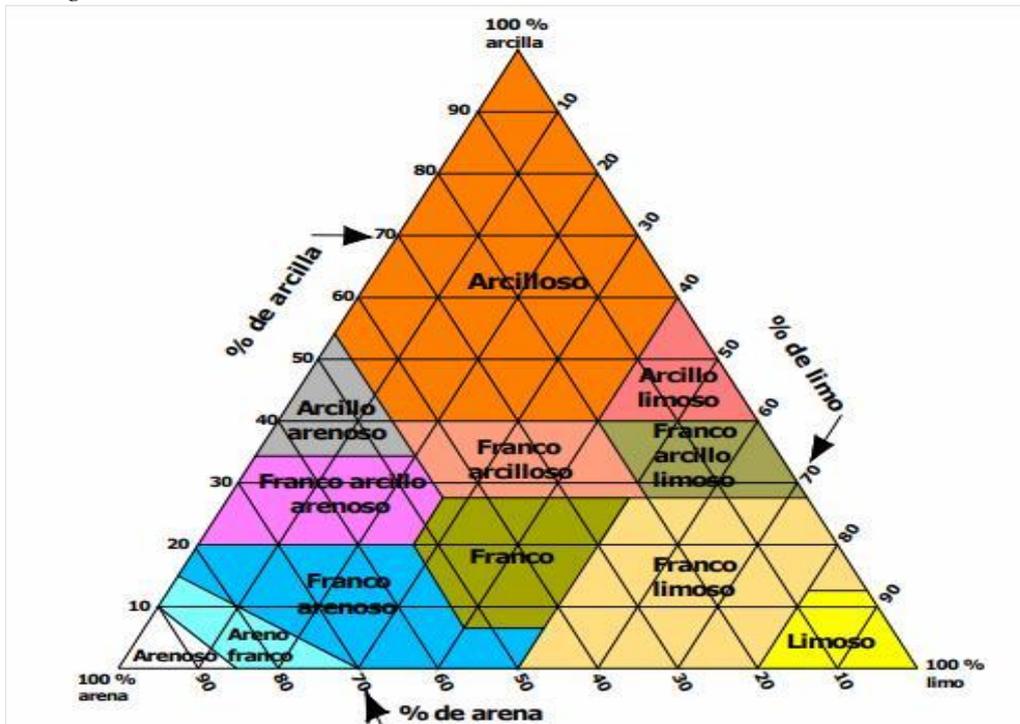
Profundidad efectiva.

“La profundidad es el espesor del suelo que se puede usar y está formado por un conjunto de horizontes donde las raíces pueden explorar sin ningún tipo de limitaciones” (Casas, 2012).

Textura.

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula (o separaciones de suelo, o fracciones) en un volumen de suelo dado y se describe como una clase textural de suelo. La textura es de gran importancia para la agricultura, ya que condiciona el comportamiento del suelo en cuanto a drenaje, aireación, capacidad de retención de agua y facilidad de laboreo (López & Zamora, 2016).

Figura 1.
Triángulo textural de los suelos.



Fuente: R. López & Zúñiga (2018).

Estructura del suelo.

La estructura del suelo viene siendo la forma en cómo se agrupan solidas del suelo, siendo la granular, prismática y de bloques las más favorables para las plantas. Al realizar los procesos de producción agrícola en exceso: araduras, rastreos en condiciones de exceso de humedad, disminución de la materia orgánica, impacto de la gota de lluvia, compactación por maquinaria y pastoreo; la estructura se deteriora rápidamente. Se reduce la aireación, se dificulta la infiltración y percolación del agua en el suelo (Calvache, 2010).

Densidad aparente.

(A. S. Jiménez & Khalajabadi, 2005)refieren que “La densidad aparente es una propiedad del suelo más usada en la agricultura, principalmente relacionada con las prácticas de manejo de los suelos y del riego”.

Se define como la masa del suelo por unidad de volumen de un suelo seco con estructura natural, esta propiedad esta influye mayormente en la productibilidad de los cultivos ya que se encuentra estrechamente ligada con la compactación, la porosidad, la circulación del agua y aire en el suelo.

Porosidad del suelo.

No es más que el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Normalmente el volumen del suelo se compone por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden diferenciar macro poros y micro poros donde se encuentra el agua, nutrientes, aire y gases que pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son las encargadas del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas (FAO, 2006).

Velocidad de infiltración.

La velocidad de infiltración caracteriza el ritmo de ingreso del agua al suelo y se expresa en término de lámina de agua ingresada en la unidad de tiempo, o lo que es lo mismo el volumen de agua que se mueve hacia el interior del suelo por unidad de área y por unidad de tiempo.

La velocidad de infiltración no es constante, pero sigue un patrón que es necesario tener conocimiento para llevar a cabo prácticas adecuadas del riego tanto en lo productivo como en la utilización racional y eficiente del agua. La velocidad depende de varios factores tales como: textura, estructura, contenido de humedad, contenidos salinos, cobertura, temperatura del agua, etc (Assan & Gorosito, 2019).

Estabilidad de agregado.

La estabilidad de los agregados de un suelo es la resistencia de la estructura del suelo contra las fuerzas destructivas mecánicas o físicas. La estructura del suelo es uno de los principales factores reguladores del crecimiento vegetal por su influencia en la penetración de las raíces, la temperatura del suelo y la difusión de gases, el transporte de agua, y por lo tanto es una característica importante del suelo para los agricultores (Eijkelkamp, 2020).

La estructura del suelo se define por la combinación o disposición de las partículas primarias del suelo en elementos compuestos, que están separados de los elementos estructurales adyacentes por superficies débiles. La textura del suelo, la estructura del suelo, y el tipo de mineral de arcilla, contenido de materia orgánica y el tipo, agentes consolidantes e historial de cultivos influyen en la estabilidad de los agregados. Entre las fuerzas destructivas mecánicas está la labranza del suelo, el impacto de maquinaria pesada, pisando de animales y las gotas de lluvia (Quijije, 2019).

4.2 Riego

Se denomina Riego a la aplicación artificial de agua en el terreno con el fin de suministrar a las especies vegetales la humedad necesaria para su desarrollo, el agua de riego debe cumplir las siguientes metas:

Acuña (2021), refiere que: Para proporcionar la humedad necesaria para que los cultivos puedan desarrollarse, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Asegurar las cosechas contra sequías de corta duración.
- Refrescar la temperatura del suelo y la atmosfera para de esta forma mejorar las condiciones ambientales para su desarrollo vegetal.
- Disolver sales contenidas en el suelo.
- Reducir la probabilidad de formación de drenajes naturales.
- Dar las características óptimas de humedad de suelo.

4.2.1 Importancia de un buen riego en los cultivos

El manejo del agua es vital, no solo para la óptima absorción de la misma en las diferentes etapas del cultivo, sino también para la absorción de minerales. El agua permite que los minerales estén en solución, y así la planta pueda asimilarlos de mejor manera (Intagri S.C., 2015).

Robles (2017), manifiesta que:

Es fundamental manejar el concepto de necesidades hídricas y su vinculación directa con el tipo de suelo en la que se encuentra la misma y las condiciones climáticas reinantes, ya que esto permitirá minimizar los riesgos de aparición de desórdenes fitogenéticos o enfermedades vinculadas al exceso de humedad.

4.2.2 Riego por aspersión

El riego por aspersión es un sistema que consiste principalmente en la distribución del agua en forma de lluvia sobre el suelo agrícola, para esto se utilizan dispositivos emisores de agua, también conocidos como aspersores, los cuales generan un chorro de agua pulverizada que llega al terreno de forma uniforme y en círculos. Estas superficies mojadas dependen de los tamaños de los diámetros de los aspersores que se utilicen en el sistema de riego (Tarjuelo, 1991).

En base al aporte del autor, el agua puede ser expulsada por medio de los aspersores debido a que está dotada de presión, gracias a un sistema de bombeo. Además, la longitud de la red de tuberías que transportan el agua por el terreno hacia los aspersores depende de las dimensiones y de la disposición de los aspersores dentro de la parcela que se va a regar, por lo

tanto, la ubicación de estos dispositivos en el terreno se realiza de manera que se tenga cubierto de la forma más homogénea todo el cultivo.

Características de riego por aspersión

“Permite aplicar el agua en forma de lluvia sobre la planta. El agua es conducida por tuberías a presión y al llegar al aspersor el chorro se rompe en muchas gotas que caen sobre el suelo” (Demin, 2014, p. 16).

Componentes de un sistema de riego por aspersión

Calvache (2015) menciona que: Los principales componentes de un sistema riego son:

- Fuente de agua, la cual permite el abastecimiento del recurso hídrico.
- Fuente de energía que proporciona la presión del agua para que el sistema funcione.
- Sistema de distribución que son tuberías de conducción principal, secundarias, laterales y accesorios.
- Aspersores para enviar el agua en forma de lluvia sobre el suelo.

4.2.3 Fuente de agua

Otros autores como Carrazón (2007), señala que:

Para el éxito de un buen sistema de riego lo principal es la fuente de agua, donde hay tener en cuenta tres aspectos:

- **Proveniencia del agua.** Puede ser de una fuente superficial o subterránea.
- **Calidad del agua.** Se debe realizar un análisis para determinar la calidad y tipo de sales que se encuentran en el agua. Se establece si es apta para el cultivo a implementar y el método de riego.
- **La Cantidad de agua.** Que determina la superficie a regar y la necesidad de la construcción de un embalse.

4.2.4 Fuente de energía

Es necesario una fuente de energía la cual es utilizada para llevar el agua hacia el cultivo; se la puede obtener mediante dos formas:

- **Motobomba o electrobomba.** Es una unidad compuesta por un motor que proporciona energía en forma de caudal y presión a los aspersores. El motor puede ser de combustión interna o eléctrico para su funcionamiento.
- **Desnivel topográfico.** Se utiliza el desnivel entre la fuente de agua y el terreno de riego para transformarlo en presión (Cadena, 2016).

4.2.5 Red hidráulica

Se utiliza diferentes tuberías desde la fuente de abastecimiento hasta el terreno para la distribución del agua, por lo que (Santos et al., 2010) mencionan que por su función son:

- **Tubería principal.** Conducen el agua desde la fuente de abastecimiento hasta la primera derivación de los caudales que se dirigen a las distintas subunidades de riego.
- **Tuberías secundarias.** Conducen el agua desde la principal hasta un grupo de subunidades.
- **Tuberías terciarias.** Conocidas también como múltiples distribuyen el agua dentro de la unidad o parcela de riego.
- **Tuberías laterales.** Se encargan de abastecer de agua a los aspersores en la parcela. Pueden ser fijas o móviles. Por el material que son construidas pueden ser de hierro galvanizado (HG), aluminio, polietileno (PE) o policlorurovinil (PVC). Además, para unir las distintas tuberías y regular los caudales y/o presión se utilizan diferentes accesorios.

4.2.6 Aspersores

Son dispositivos que distribuyen el agua sobre el suelo y los cultivos imitando a la lluvia en forma de pequeñas gotas, siendo estos los responsables para una buena calidad de funcionamiento del sistema de riego (Santos et al., 2010).

Los aspersores cumplen el rol más importante en el sistema de riego distribuyendo el agua sobre el cultivo. Existe una alta gama de aspersores según se finalidad a emplearse los cuales se clasifican según Cadena (2016) en:

- **Según el mecanismo de giro.** Martillo o de impacto, balancín, trompo, hélice, giro rápido y giro parcial.
- **Según la presión de trabajo.** Baja presión (10 a 20 m.c.a), media presión (20 a 40 m.c.a) y alta presión (mayor a 40 m.c.a).
- **Según el número de boquillas.** De una, dos o tres boquillas, diámetros de boquillas.
- **Según la trayectoria o el ángulo de salida del chorro.** Ángulo bajo (menor o igual a 25°) y ángulo normal (25° a 45°).

4.2.7 Evolución del sistema de riego

Los equipos de riego por aspersión han tenido un gran desarrollo al pasar de los años, teniendo mucha variedad que se acopla a las necesidades y presupuesto que se tenga en un proyecto de riego. Inicialmente se utilizaban aspersores de impacto colocados en forma

simétrica sobre el terreno, los cuales se quitaban una vez cumplida su función. Posteriormente surgieron los aspersores con muelle de retroceso para que puedan quedar retraídos en el terreno cuando no se tenga riego. En los últimos años, debido al gran desarrollo tecnológico, inclusive se los puede programar por medio de un sistema computarizado y monitorearlos con telefonía móvil (Arroyo, 2017).

4.2.8 Aplicación del agua en los sistemas de riego por aspersión

El objetivo del riego por aspersión es conseguir una distribución uniforme del riego, lo cual se consigue al establecer ramales con emisores en el campo, a los cuales se les puede hacer variar los tiempos de riego en sus distintas posturas o las velocidades de desplazamiento del ramal para lograr una homogeneidad del agua aplicada (Brown, 2013).

La distribución del agua se da de forma en que la zona del suelo que recibe más agua es la que está ubicada más cercana al aspersor, la distribución en altura de agua generada por un aspersor individual se puede asimilar a la forma de un cono.

Según Christiansen, hay una buena uniformidad cuando los aspersores están separados aproximadamente entre un 50 y 65% del diámetro mojado. Por esta razón la aplicación uniforme de agua en la superficie del terreno se consigue mediante el solapamiento de las distribuciones individuales de cada aspersor, el marco de riego, que viene indicado en las especificaciones del fabricante de cada aspersor, influye directamente en la uniformidad del riego aplicado (Calvache, 2010).

Otro factor que es de gran influencia es la velocidad del viento debido a que puede desplazar las distribuciones individuales de los aspersores, con lo cual se modifica el diseño de aplicación de agua original, para poder obtener una buena distribución se puede disminuir la distancia entre aspersores en la dirección del viento dominante en la zona (J. González & Playan, 2014)

En general el riego se lo debe hacer antes de que la tensión del agua en el suelo reduzca el suministro hídrico de la planta, de tal forma que ésta no disminuya su producción.

4.2.9 Clasificación de los sistemas de riego por aspersión

Los sistemas de riego por aspersión se pueden clasificar en dos grupos generales, aunque para este proyecto en especial se ha enfocado en los sistemas estacionarios o fijos:

- **Sistemas estacionarios.** Se caracterizan por permanecer en la misma posición mientras dura el riego. Dentro de este grupo se encuentran los sistemas que pueden desplazarse

de una posición de riego a otra, de forma manual, por tuberías, o mecanizados, como en los sistemas de desplazamiento discontinuo.

- **Sistemas mecanizados o móviles.** Se caracterizan por desplazarse mientras aplican el agua de riego, siguiendo una trayectoria lineal o circular. Los principales sistemas móviles con desplazamiento continuo son los sistemas pivote, los laterales de avance frontal y los cañones halados por una tubería con enrollador o por cable (Villacís, 2012).

4.2.10 Ventajas y desventajas del riego por aspersión

Villacís (2012), presenta una serie de ventajas y desventajas.

Ventajas

- Este método de riego nos permite ocupar poca mano de obra, debido a que se puede automatizar el sistema, además de no tener que ser tan calificada como para otros métodos de riego.
- No necesita la construcción de canales y acequias en el terreno.
- Con el riego por aspersión no se necesita nivelar el terreno.
- Este sistema se caracteriza porque se lo puede utilizar en una gran diversidad de suelos, incluso en suelos con texturas ligeras, con alta infiltración y baja capacidad de retención.
- La eficiencia de la aspersión es del orden del 80 %.
- Se reduce la pérdida de elementos fertilizantes por lixiviación, y a su vez se puede utilizar para el lavado de suelos salinos.
- El sistema de aspersión fijo se la puede utilizar para riego anti heladas, en países o zonas donde las temperaturas tienden a ser muy bajas y los cultivos puedan congelarse, para evitar daños en las plantas o riegos refrescantes para proteger los cultivos de temperaturas elevadas. Esto se logra enviando calor a las plantaciones y un riego sin interrupciones mientras dure la helada.

Desventajas

- El riego por aspersión tiene un alto costo en la instalación, el cual es inversamente proporcional al área del riego, y de gastos de explotación, debido a los costes de la alta energía necesaria para el bombeo para alcanzar la presión de agua adecuada de diseño. De todas maneras, se debe aclarar que estos costos se compensan con otros gastos que no se hacen para este método de riego.

- Con este método de riego no se pueden utilizar aguas salinas sobre plantas sensibles a la sal, debido a que producen quemaduras en las hojas. Las concentraciones altas en bicarbonatos provocan machas en los frutos.
- Este sistema no se adapta a suelos con tasas de infiltración bajas ($\leq 3\text{mm/h}$), por lo que se puede producir una fuerte escorrentía y erosión del suelo.
- En terrenos muy irregulares puede ser muy difícil ubicar los aspersores para que exista uniformidad del riego.
- El viento dificulta el reparto eficiente del agua de los aspersores.

4.2.11 Diseño agronómico

El diseño agronómico es parte fundamental del proyecto de riego, presentando ciertas dificultades, tanto de tipo conceptual como de cuantificación de ciertos parámetros, por el gran número de condicionantes que ha de tener en cuenta (suelo, clima, cultivos, parcelación, etc.) (Solórzano et al., 2015).

Determina la cantidad de agua que deberá soportar la instalación en época de máxima demanda de agua por el cultivo (Fernández et al., 2010).

Necesidades de agua del cultivo

Jiménez (2019), define las necesidades del agua del cultivo como “la cantidad de agua requerida por las plantas para reponer el consumo producido por la evapotranspiración y el agua retenida en las plantas”.

Evapotranspiración

Según (FAO, 2006); es la combinación de dos procesos separados por los que se pierde agua, a través de la superficie del suelo por evaporación y por la transpiración del cultivo, los cuales ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguirlos; es decir, es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante, la cual puede ser un lago, río, camino, suelo o vegetación mojada. Al evaluar la evaporación es importante tener en cuenta algunos parámetros climatológicos como son: La radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la velocidad del viento.

Evapotranspiración de referencia

De acuerdo con (FAO, 2006), la evapotranspiración de referencia (E_{To}), se define como la tasa de evapotranspiración que presenta una extensa superficie de praderas (pastos)

con 12 cm de altura uniforme, que cubre completamente al suelo y que está bien irrigado de agua.

La evapotranspiración del cultivo de referencia refleja la verdadera necesidad de agua para los cultivos que deben desarrollarse en condiciones óptimas de humedad. El estudio del concepto de necesidad de agua es aquel que permite satisfacer normalmente los requerimientos hídricos del cultivo o el uso consultivo que es la cantidad de agua consumida en un área determinada por unidad de tiempo (Y. Martínez, 2017).

La Evapotranspiración de referencia de un cultivo depende de muchos factores, entre los principales se tiene: Clima, suelo, fertilización, riego, labores culturales.

En correspondencia a lo señalado por los autores, (J. Rueda, 2016) sostiene que para estimar correctamente la evapotranspiración de referencia se debería utilizar un método que considere la mayor cantidad de parámetros meteorológicos que inciden en el flujo de agua, en forma de vapor desde el área cultivada hacia la atmosfera.

Coefficiente de cultivo

Conforme a la (FAO, 2006) el coeficiente de cultivo (K_c) es un importante parámetro que integra en un solo valor la influencia real de la evaporación del suelo y la transpiración de un cultivo (E_{Tc}), en una relación con la evapotranspiración del cultivo de referencia (E_{To}), constituyendo una excelente herramienta para la planificación del riego y la programación de calendarios básicos de riego en periodos mayores a un día.

El coeficiente K_c es específico para cada cultivo y oscila entre 0.3 y 1.3, este coeficiente alcanza su máximo valor cuando el cultivo alcanza una cobertura mayor del 70 % y en el periodo de formación de frutos.

La (FAO, 2006) recomienda determinar estos coeficientes a partir de cuatro estaciones vegetativas bien diferenciadas:

- **Fase inicial.** Es la fase en que se produce la germinación y el crecimiento que alcanza una cobertura del 10%.
- **Fase de desarrollo del cultivo.** Desde la etapa anterior hasta que el cultivo alcanza una cobertura del 70 al 80%.
- **Fase de mediados del período.** Desde que se obtiene una cubierta sombreada efectiva completa hasta el momento de iniciarse la maduración de los frutos.
- **Fase final del período.** Desde a la maduración de los frutos hasta la cosecha. En las fases de desarrollo y finales del período, los valores de K_c aumentan y disminuyen linealmente con el tiempo.

Evapotranspiración del cultivo (ETc)

Es el requerimiento hídrico que tiene el cultivo 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:

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹)

Eto. Evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹)

Kc: Coeficiente del cultivo

4.2.12 Parámetros de riego

Lámina de riego.

Se define como la cantidad de agua que se aplica al suelo en función de la profundidad de la raíz o la profundidad del riego. Hay dos tipos de cálculos de profundidad de riego: lamina neta y lamina bruta en función de la eficiencia del agua (Calvache, 2010).

Lámina de agua aprovechable (LAA).

Permite calcular la cantidad de agua expresada en lámina que un suelo a cierta profundidad, es capaz de almacenar, el cual considera el agua aprovechable y la densidad aparente. Es uno de los valores más significativos en el cálculo de la programación del riego denominado (LAA) o agua disponible en el perfil el suelo para uso consuntivo de las plantas (Gallegos, 2016).

Umbral de riego.

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, se trata de mantener los niveles de humedad en capacidad de campo, con el objeto de disminuir los gastos de energía, por parte de la planta para absorber agua (Villafáfila & Wyss, 2009).

Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).

Es la cantidad de agua consumida por las plantas entre dos riegos sucesivos, es decir, cantidad de agua a entregar por unidad de área, por esa razón, (Gallegos, 2016) señala lo siguiente:

Se obtiene del producto de $LAA * UR$. El (UR) umbral de riego es el porcentaje que permite el descenso de la lámina de agua aprovechable, sin causar estrés al cultivo, ni la dificultad de realizar mayor esfuerzo por las raíces, mismo que afectaría el normal desarrollo del cultivo.

Lámina de riego o lámina total (Lr).

Según Monge (2018) “es la cantidad total de agua que se entrega por riego a la superficie del terreno, de manera que asegure la suficiente entrega de agua, está en función de la eficiencia de aplicación del método de riego a utilizarse”.

Frecuencia de riego.

De acuerdo Tarjuelo (1991), “es la relación de la lámina de agua rápidamente aprovechable con la demanda máxima de cultivo, se obtiene la frecuencia de riego calculada. La frecuencia de riego es el número de días que transcurren entre dos riegos sucesivos”.

En las primeras etapas del cultivo, cuando el suelo no está completamente cubierto, las necesidades de agua pueden aumentar si el suelo está húmedo a menudo debido a la mayor evaporación. Por otro lado, la baja frecuencia de riego aumenta el riesgo de escasez de agua en los cultivos, lo que se traduce en menores rendimientos.

Selección del aspersor.

Hay infinitas variables a la hora de elegir el tipo de aspersor y se recomienda; elegir un emisor que cumpla con todos los factores de cultivo, clima, económicos, etc. requisitos, y si hay varios emisores, elija el precio más bajo manteniendo la calidad del material (Gaete & Espinosa, 2001).

Intensidad de precipitación (Ip).

Es la cantidad de agua por unidad de área que el aspersor puede entregar durante el riego, $mm h^{-1}$, y no causará erosión ni obstrucción del suelo, por lo que las condiciones de diseño deben ser $IP \leq VIb$; se debe tener cuidado al elegir un emisor ya que puede causar daños durante el riego (Gaete & Espinosa, 2001).

Según (Chow, 1994; citado por (Jimenez, 2019)), es una consecuencia del caudal emitido por el aspersor y la superficie mojada por el mismo, se calcula en base a la siguiente fórmula matemática.

Número de posiciones.

“El número de posiciones del aspersor para cubrir la superficie de riego es una relación entre la superficie de riego total y la superficie regada por cada aspersor” (Cuenca, 2021).

Tiempo de riego por posición del aspersor.

“El tiempo necesario para aplicar la lámina total de riego, se determina mediante la relación de la lámina de riego (mm) y la intensidad de precipitación del aspersor (mm h^{-1})” (Cuenca, 2021).

Dosis de riego.

Es la cantidad de agua en un riego por unidad de superficie. Se puede hacer una distinción entre dosis neta (Dn) y dosis total (Dt) (Sandoval, 2009).

Marco de los Aspersores.

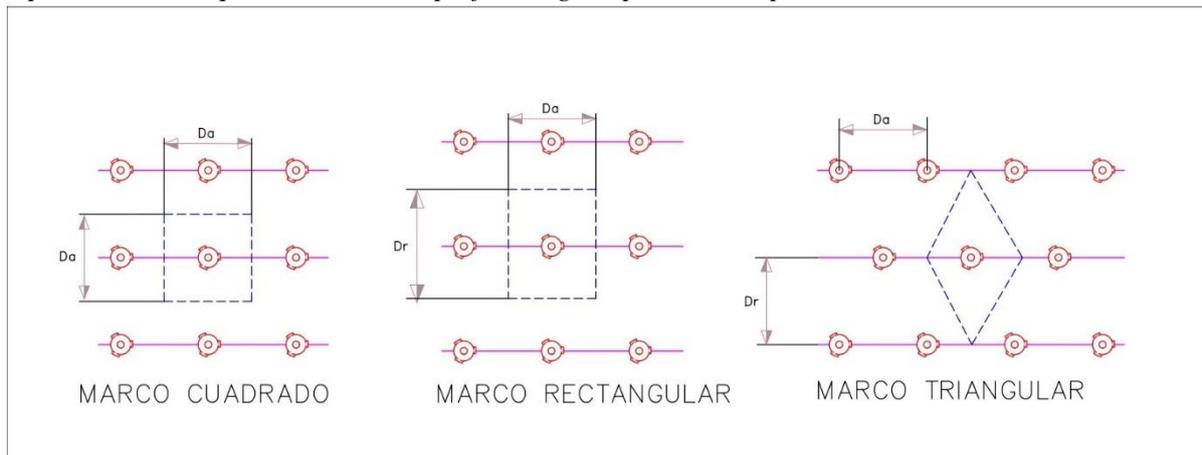
Se llama marco de un aspersor a la distancia que existe, entre dos líneas continuas, y entre dos aspersores continuos sobre una misma línea.

Según (Peralta & Simpfendörfer, 2001), la cantidad de agua suministrada al suelo disminuye a medida que se aleja del aspersor, es necesario compensar esta falta de precipitaciones cubriendo un círculo mojado con otros aspersores. Aquí hay tres formas de organizar los aspersores:

- **Disposición en cuadrado.** Los aspersores ocupan los vértices de cuadrados siendo la distancia entre líneas igual a la distancia entre aspersores continuos en una misma línea
- **Disposición en rectángulo.** Los aspersores ocupan los vértices de rectángulos, donde la distancia mayor del rectángulo se aplicará al alejamiento entre líneas y la menor a la separación de los aspersores en la misma línea. Esta disposición tiene como objetivo corregir la acción del viento sobre la distribución del agua.
- **Disposición en triángulo.** Los aspersores ocupan los vértices de triángulos equiláteros. La disposición reduce el número de aspersores usados para una misma superficie, en relación a las anteriores. Sin embargo, presenta problemas de operación cuando necesita ir cambiando de posición las tuberías.

Figura 2.

Representación esquemática de la superficie regada por cada disposición.



- **Marco de riego.** Cuanto más pequeño es el marco de riego, más uniformidad se logra, lo que se considera superposición suficiente. El marco del aspersor también se conoce como la superficie sobre la que riegan los aspersores, por lo que es igual a la distancia entre los aspersores multiplicada por la distancia entre los lados. Estas distancias dependen de las especificaciones del fabricante del aspersor, que son las mismas que las del catálogo del fabricante y también se pueden obtener mediante pruebas de campo (Valarezo, 2013).

4.2.13 Diseño hidráulico

Autores como (S. Jiménez, 2017) refiere que: “El diseño hidráulico tiene como objetivo definir los diámetros de las tuberías que componen el sistema de riego como las tuberías de conducción, distribución y los regantes, todo aquello bajo un nivel de optimización”.

Aquí se determina primeramente las subunidades de riego, donde se debe tener en cuenta la tolerancia de presiones y caudales, pérdidas de carga, diámetros de las tuberías usadas, entre otros. Luego de ello se diseña la unidad de riego, el trazado y diámetros de tuberías primarias y secundarias y el cabezal de riego.

En general el diseño hidráulico se bosqueja de tal manera que las unidades de riego que constituyan el sistema de riego estén ubicadas en sectores separados, con el propósito de equilibrar presiones y repartir los caudales para utilizar tuberías de menor diámetro. Todo esto desde el punto de vista agronómico es lo más recomendable ya que al momento de diseñar se debe considerar agrupar cultivos con similares características en cuanto a las necesidades hídricas, de fertilización y de cosecha (Paz, 2015).

Pérdidas de carga

A medida que el agua a presión circula por las tuberías y varios elementos del sistema, pierde parte de esa presión debido a la fricción. Esta pérdida de presión se denomina pérdida de carga y se expresa en las mismas unidades que la presión, generalmente metros de columna de agua (m.c.a.).

Las pérdidas de carga en el sistema dependen principalmente de los siguientes condicionantes, las cuales (Cuenca, 2021) señalan:

- Diámetro interior de la tubería, teniendo en cuenta que a menor diámetro la pérdida de carga es mayor para el mismo caudal circulante.
- Longitud de la tubería, sabiendo que a mayor longitud de la tubería también es mayor la pérdida de carga para el mismo diámetro y caudal circulante.
- Caudal, siendo mayor la pérdida de carga a mayor caudal para el mismo diámetro.
- Tipo de material de la tubería y rugosidad de sus paredes interiores (aluminio, polietileno, fibrocemento, etc.).

En el diseño hidráulico de la red de riego se deben tener en cuenta todas las posibles pérdidas de carga, de forma que en la parte más desfavorable de la instalación exista la presión suficiente para que el emisor pueda suministrar el agua correcta (Fernández, 2010).

4.3 Manejo sostenible del suelo

Se entiende como el conjunto de actividades y prácticas agro culturales que se diseñan y ejecutan con el objeto de prevenir, reducir, corregir o frenar los procesos de degradación a fin de recuperar, mejorar o mantener las propiedades del suelo (Márquez, 2016).

4.3.1 Medidas de conservación y mejoramiento de los suelos

Medidas permanentes

El uso de medidas permanentes es muy importante para lograr la eficiencia en la prevención de procesos de degradación por erosión, ya que evita la pérdida de suelo y agua y es una guía permanente para el trazado de surcos en los campos de cultivo. Entre las medidas más utilizadas: barreras vivas, diques, terrazas con arados y otras (F. Martínez et al., 2017).

Medidas temporales

Constituyen la base fundamental para la conservación del suelo, ya que básicamente engloban un conjunto de medidas para evitar los procesos de degradación. Las más comunes

son la siembra perpendicular o en contorno en la dirección de la pendiente más pronunciada, el manejo de la cobertura y la independencia hídrica de los campos (F. Martínez et al., 2017) .

Medidas de acondicionamiento

El uso de estas medidas está básicamente encaminado a conservar y mejorar las propiedades físicas del suelo, logrando el acondicionamiento deseado para el crecimiento de los cultivos, mediante la reducción de trabajos de preparación, descomposición, nivelación y otros. La labranza mínima, la recogida de piedras y la subsolación (F. Martínez et al., 2017).

4.4 Cultivo de Maíz.

El maíz a nivel mundial uno de los tres cereales con máxima producción, y es de origen americano. Presenta a un alto consumo humano y animal, así como industrial. Es una gramínea de crecimiento anual: su ciclo vegetativo es extenso, dependiendo de la variedad y de las condiciones ambientales, el cultivo puede variar de 80 a 200 días, desde la siembra hasta el momento de la cosecha.

Siendo el maíz un rubro agrícola de mucha importancia, el cultivo es manejado en condiciones climáticas diferentes. Se cultiva en época lluviosa y seca, y necesita del riego cuando se tiene un déficit hídrico en áreas con precipitaciones escasas. el maíz es el segundo cultivo transitorio de importancia nacional después del arroz, y representa una fuente directa de ingresos para las familias ecuatorianas, además de ser la materia prima más importante para la elaboración de los alimentos balanceados.

4.4.1 Origen y distribución

El maíz es el único cereal nativo del hemisferio occidental. Originario de México, se extendió al norte hasta Canadá y al sur hasta Argentina, posteriormente tras el descubrimiento de América se difundió hacia Europa, Asia y África. A nivel mundial representa el 5,4 % del total de fuentes alimenticias de la población humana (M. González, 2011).

4.4.2 Taxonomía

- Reino: Vegetal
- División: Magnoliophyta
- Orden: Poales
- Familia: Poacea
- Género: Zea
- Especie: mays

- Nombre científico: *Zea mays* L
- Nombre común: Maíz, choclo (E. Pérez, 2014).

4.4.3 Morfología

Raíz

Puede alcanzar hasta 2 m de profundidad y extenderse en un diámetro de 1,2 m, dependiendo este desarrollo de las condiciones de cultivo. Según (Sanchez, 2013) su apareamiento y estructura se reconocen tres clases de raíces:

- Raíces germinativas o temporales
- Raíces permanentes; que nutren a la planta
- Raíces adventicias: sirven de anclaje.

Tallo

El tallo lo constituye una caña maciza de altura variable, provisto de varios nudos, sin ramificación lateral.

Hojas

Son lineares de nervadura paralela, constan en si de una vaina, cuello y la lámina foliar propiamente dicha, salen de la parte superior de los nudos, presentan pubescencia, son de borde liso y terminan aguzadas, pudiendo alcanzar longitudes de más de 1 m (Toledo, 2016).

Flores

El maíz es una especie monoica es decir de sexos separados. La inflorescencia masculina es terminal y se le conoce como panícula, panoja, espiga, compuesta por un eje central o raquis y ramas laterales; a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma apareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay tres estambres donde se desarrollan los granos de polen (Macas, 2022).

Una antera en promedio tiene de 2800 granos de polen; una planta tendría aproximadamente 5 millones de granos de polen. Las inflorescencias femeninas, las mazorcas, se localizan en las yemas axilares de las hojas; son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas, las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo con

propiedades estigmáticas donde germina el polen. Del 2 al 5 % de la fecundación se logra con autopolinización, en tanto que del 95 al 98% se trata de polinización cruzada. (Zúñiga, 2016)

Fruto

En la mazorca, cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca, el número de líneas de cada mazorca varía entre 10 y 25, mientras que los granos de cada línea van de 18 a 42; es así que hay una gran variedad de granos por mazorca en función de la variedad a cultivar (INIAP, 2011).

4.4.4 *Requerimientos de clima y suelo*

Clima

Chanataxi (2016) indica que el maíz se desarrolla en climas que van desde tropicales hasta climas fríos; hablemos en nuestro medio que para el maíz necesitamos un clima fresco con temperaturas de 12°C a 18°C, en alturas que van desde los 2000 a 2900 m.s.n.m, en estas últimas tenemos el maíz de la sierra; además las precipitaciones deben estar bien distribuidas durante todo el desarrollo del cultivo, en rangos de 600 a 1000 mm/año. Requiere de una alta incidencia de luz solar, es así que en zonas muy densas y nubladas su productividad es baja.

Suelo

INIAP (2011) menciona que “el maíz se desarrolla mejor en suelos francos, con buen drenaje, con pH óptimos entre 6,5-7,5 que tengan buenos contenidos de materia orgánica”

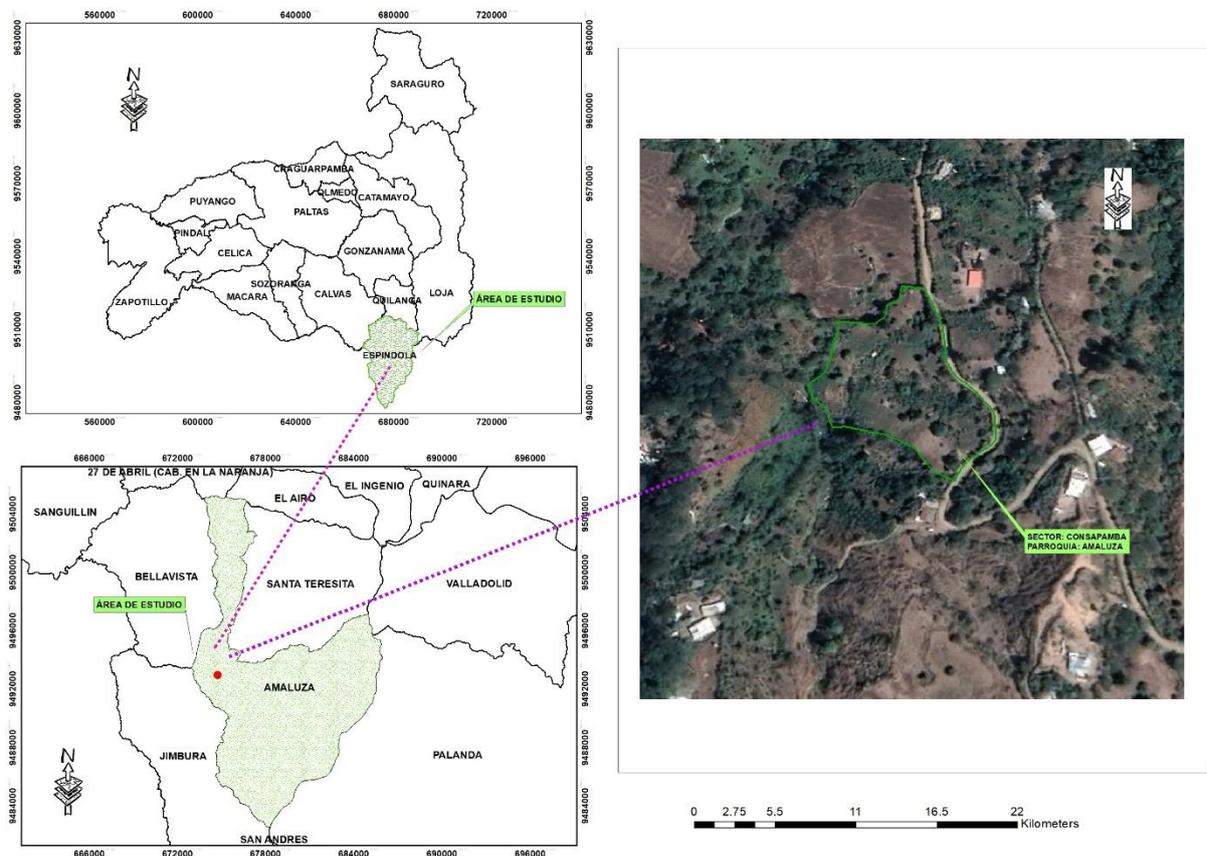
5. Metodología

5.1 Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en el barrio Consapamba perteneciente a la parroquia urbana Amaluzá del cantón Espíndola y sus límites son al norte con la parroquia Santa Teresita, al sur con la parroquia Jimbura y Zamora Chinchipe, al este con la Provincia de Zamora Chinchipe, al oeste con la parroquia Bellavista y Jimbura. Con la siguiente ubicación geográfica coordenadas planas (UTM): Norte: 9 492 634,3 m, Este: 674 386,6 m y Altitud promedio: 1 737. m.s.n.m.

Figura 3.

Ubicación de área de estudio a nivel provincial, cantonal y parroquial.



5.1.1 Información climática

La altura promedio es de 1 998 m.s.n.m. su clima es tropical, con temperaturas que oscilan entre los 12°C y 28°C (promedio 20,8°C), siendo junio, julio, agosto y septiembre los meses más cálidos, siendo julio ventoso. Y heladas en agosto, diciembre y enero. En cuanto a las precipitaciones, la precipitación total anual es de 1.011,87 mm.

5.2 Identificación del área y fuente de agua del sitio

Se realizó una visita al área de estudio, con el fin de conocer la superficie donde se cultiva. Así mismo, se hizo el diagnóstico necesario en el sistema de riego Consapamba para ver de qué forma los vienen manejando los usuarios, por otra parte, se procedió a desarrollar el aforo del caudal y análisis de agua con la que se abastece al cultivo.

5.3 Materiales

5.3.1 *Materiales de campo*

- Cartografía del área de estudio
- Estación total
- GPS diferencial
- Teléfono móvil
- Barreno extractor de muestras
- Cilindros
- Materiales de descripción
- Pala
- Barreta
- Libreta de apuntes

5.3.2 *Materiales de laboratorio*

- Materiales para determinación de constantes físicas
- Materiales para determinación de propiedades químicas
- Materiales para determinación de textura

5.3.3 *Material de oficina*

- Computadora
- Calculadora
- Anuarios meteorológicos
- Materiales bibliográficos

5.4 Metodología para el primer objetivo

Realizar la caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo del área de estudio.

5.4.1 Descripción del perfil del suelo

Para la descripción del perfil del suelo (Anexo 1), se tomó como base la Guía para la Descripción de Perfiles de Suelos del USDA (2014); y las normas contenidas en la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelo” de la FAO 2009. Para ello, se realizó dos calicatas en lugares representativos del área de estudio con dimensiones de 1,40 m de largo, 1,25 m de ancho y 1,20 m de profundidad estas medidas pueden ser variables con el fin de que se pueda apreciar claramente el perfil del suelo y la profundidad efectiva de raíces (Fruticola, 2016).

5.4.2 Propiedades físicas

Para la determinación de las propiedades físicas se tomaron las muestras de suelo no disturbadas y disturbadas de cada una de las calicatas realizadas con el fin de cumplir con los requerimientos de los análisis.

Densidad aparente.

Para este punto, se tomó muestras inalteradas con los cilindros kopecky de 100 cm³ de los primeros horizontes de la calicata uno y calicata dos, haciendo 3 repeticiones y obteniendo un total de 9 muestras del suelo. Las mismas fueron secadas en la estufa a una temperatura de 105 °C; finalmente se tomó el peso de cada muestra.

Para determinar la densidad aparente se determinó por el método del anillo volumétrico, utilizando la siguiente formula:

$$Da (g\ cm^{-3}) = \frac{Peso\ seco\ (g) * 100}{volumen\ del\ cilindro}$$

Donde:

Da= Densidad aparente.

Textura.

Para textura se tomó muestras disturbadas del suelo, de la calicata 1 a una profundidad de 40 cm y lo mismo se hizo con la calicata 2 a una profundidad de 20 cm. Las mismas que fueron trabajadas en el laboratorio de Suelos de la facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, utilizando el método de Bouyoucos.

5.4.3 Velocidad de infiltración del agua en el suelo

La velocidad de infiltración se obtuvo mediante el método de los cilindros infiltrómetros simples con tres repeticiones. Este método se basa en saturar el diámetro de suelo que ocupan los cilindros y seguidamente medir la variación del nivel del agua en el interior de el mismo (Anexo 2), el proceso fue el siguiente:

- Se seleccionó tres zonas con más relevancia dentro del predio de estudio, se procede a centrar correctamente entre el cilindro interior y exterior, que se entierran hasta que alcance correcta estabilidad.
- Los cilindros se introdujeron poco a poco y al mismo tiempo tanto el interior como el exterior hasta que llegaron a los 10 cm de profundidad.
- Clavados los cilindros se comenzó a llenar sigilosamente de agua empezando por el exterior y seguidamente el interior.
- Se comienza a tomar las lecturas a 5, 10, 15, 30, 60 min, en intervalos de una hora respectivamente.
- Se toma las lecturas hasta cuando la tasa de infiltración se estabiliza y es constante, para determinar la velocidad de infiltración básica se utilizó la ecuación de Kostiakov.

Infiltración acumulada (Iacum).

A través de la ecuación de Kostiakov (1932); 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:

$$Iacum = A * t^B$$

Donde:

Iacum: Infiltración acumulada (cm),

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

t: Tiempo (min).

Infiltración instantánea (Iinst).

Desde el punto de partida el cual es la ecuación potencial positiva de la infiltración acumulada se determinó la ecuación potencial negativa o infiltración instantánea:

$$Iinst = a * t^b$$

Donde:

Iinst: Infiltración instantánea (cm),

t : Tiempo (min),

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

$$A = \frac{a}{(b + 1)} \rightarrow a = A(B + 1)$$

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

Velocidad de infiltración básica (Ib).

Para determinar la infiltración básica se derivó la ecuación de infiltración instantánea, y luego se multiplico por un factor de conversión para expresarla en mm h^{-1} .

$$Ib \left(\frac{\text{mm}}{\text{h}} \right) = a [(600 t)]^b$$

5.4.4 Constantes hidrofísicas

Saturación.

Para la determinación de la saturación se utilizó las muestras inalteradas tomadas con los cilindros koopecky, en la cual fueron puestas en agua hasta la parte superior del cilindro, durante varios días. Luego de comprobarse que los poros de la muestra de suelo estén completamente saturados se procedió a pesar.

En estas condiciones la muestra de suelo se encuentra a un $\text{pF} = 0$.

Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)

Con las muestras disturbadas de los horizontes de cada una de las calicatas se enviaron al laboratorio del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP). Para determinar los parámetros de CC y PMP fue por el método de la centrifuga.

5.4.5 Curva de retención de humedad del suelo

Para graficar la curva de retención de humedad del suelo, se utiliza los resultados de las constantes hidrofísicas; 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.

5.4.6 Propiedades Químicas

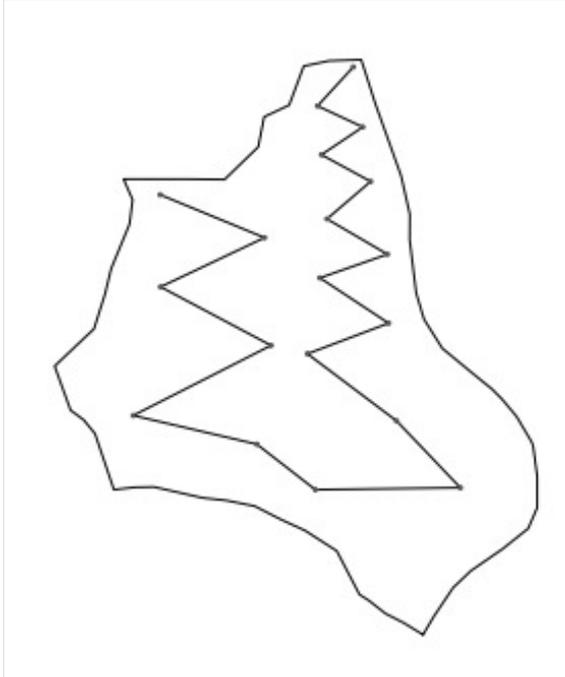
Toma de muestras del suelo

En la zona donde se está realizando el proyecto se tomó una muestra alterada con el barreno hasta una profundidad de 0 - 25 cm, utilizando la técnica del zigzag (Figura 4) y se envió a realizar el análisis químico donde se determinó: pH, macronutrientes, capacidad de

intercambio catiónico, conductibilidad eléctrica y materia orgánica en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP).

Figura 4.

Toma de muestras en el terreno en forma de zig zag.



5.5 Metodología para el segundo objetivo

Diseñar un sistema de riego por aspersión considerando las condiciones de la zona de estudio.

5.5.1 Medición del caudal de la fuente de abastecimiento

El agua proveniente del río Consapamba el cual abastece al sistema de riego del mismo nombre del cual se toma el recurso para regar el predio por gravedad y mangueras, el aforo del caudal se realizó mediante el método del flotador con un total de 10 repeticiones este método es el más sencillo, pero sólo permite estimar en forma aproximada el caudal. Se debe apreciar la velocidad del agua y el área del canal. El cálculo del caudal estimado se determina mediante la siguiente expresión matemática:

$$Q = Vc \times A \times (L/T)$$

Donde:

Q: es el caudal, en m³/s

L: es la longitud entre el Pto. A y B en metros

A: es el área, en m²

T: es el tiempo promedio en segundos

Fc: es el factor de corrección

Donde Fc es un factor de corrección relacionado con la velocidad.

El valor de Fc se debe seleccionar de acuerdo al tipo de río o canal y a la profundidad del mismo, de acuerdo a los valores del siguiente.

5.5.2 Topografía

Para realizar el levantamiento topográfico del área de estudio (Anexo 3) y de la línea principal de suministro de agua para riego, se utilizó un GPS diferencial se obtuvo las coordenadas de partida, a continuación, se procedió hacer el levantamiento de información de todo el terreno, la distancia a la que se tomara los puntos se la determinara de acuerdo al relieve del terreno tratando de representar de forma correcta la superficie del predio.

Los datos obtenidos con el levantamiento y con la ayuda de un software se generó el plano topográfico en el cual se realizó la delimitación donde se hará el diseño de riego.

5.5.3 Diseño agronómico

Con la información conseguida previa para el diseño agronómico de un sistema de riego por aspersión se dio el siguiente paso el cual consiste en calcular los parámetros que permiten planificar el uso del agua en el cultivo en épocas de su máxima necesidad hídrica.

Evapotranspiración del cultivo.

Según la FAO (2006b), la ecuación factible 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), en la cual se utilizó la estación meteorológica Amaluza, la cual es la más cercana al área de estudio y que no presenta una

diferencia considerable de altitud con el sitio de estudio, siendo esta de 65 m, con información completa en un rango de 25 años.

Los meteoros que se utilizaron fueron: temperatura media, máxima y mínima, radiación solar (Anexo 4), en un rango de 25 años; todas estas regeneradas de los anuarios meteorológicos del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología).

Fórmula de Hargreaves:

$$ET_o = 0,0135 (T_{media} + 17,78)R_s$$

Donde:

ET_o: Evapotranspiración potencial (mm día⁻¹)

T_{media}: Temperatura media(°C)

R_s: Radiación solar (mm día⁻¹)

Coefficiente del cultivo (K_c).

Se graficaron la curva del K_c del cultivo de maíz, 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 (Anexo 5).

La gráfica de K_c contiene lo siguiente:

En el eje "X" el periodo de cada fase, correspondiente al número de días de cada mes, representando la fase fenológica del cultivo.

En el eje "Y" los valores del coeficiente de cultivo.

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. Expresándose en 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:

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

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

Donde:

Pe: Precipitación efectiva (mm)

Pm: Precipitación media mensual (mm)

Parámetros de riego.

Según Cadena (2016) y Monge (2018), estos parámetros que determinan las láminas de riego y el tiempo de riego, se los consigue con 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 la lámina de agua aprovechable se usaron los datos de las características físicas e hidrofísicas del suelo y valores de profundidad efectiva de las raíces encontrados en estudios agronómicos realizados sobre cultivo. Se utilizó la ecuación y el umbral de riego. La que normalmente es de: $f = 0,5$ (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 la obtuvo 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:

$$Fr = \frac{LARA}{ETcmax}$$

Donde:

Fr: Frecuencia de riego (días)

LARA: Lámina de agua rápidamente aprovechable (mm)

ETc max: Evapotranspiración máxima del cultivo (mm día⁻¹)

Frecuencia de riego ajustado (Frj).

Se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$Frj = ETc * \#dias$$

Donde:

Frj: frecuencia de riego ajustada (días)

ETc: Evapotranspiración del cultivo (mm día⁻¹)

#dias: Número de días (días)

Lamina de riego rápidamente aprovechable ajustada (LARAajust).

Se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$LARAajust = ETcmax * Frj$$

Donde:

LARA ajust: Lamina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

ETc: Evapotranspiración máxima del cultivo (mm día⁻¹)

Frj: Frecuencia de riego ajustada (días)

Lamina de riego (Lr).

Se calculó a partir de la siguiente ecuación.

$$Lr = \frac{LARAajust}{Ea}$$

Donde:

Lr: Lamina de riego (mm)

LARAajust: Lamina de riego rápidamente aprovechable ajustada (mm)

Ea: Eficiencia del método de riego por aspersion (decimal)

Selección del aspersor.

Se eligió el aspersor con las características adecuadas en función de la presión de funcionamiento, caudal de emisión, diámetro húmedo y la velocidad de infiltración del suelo con estos datos se va buscando en el catálogo de aspersores. Además, de seleccionar el aspersor, se debe definir la línea de riego.

Marco de riego.

El predio de estudio presenta una serie de condiciones y en función de estas, se consideró el 60% del diámetro húmedo que proporciona el aspersor seleccionado; hay que tomar en cuenta que el fabricante da un espaciamiento recomendado para tener una mayor uniformidad.

Intensidad de precipitación del aspersor (lp).

Se determinó a partir de las características del aspersor seleccionado, con la siguiente formula:

$$lp = \frac{Qasp}{Sa * Sl}$$

Donde:

lp: Intensidad de precipitación (mm h⁻¹)

Qa: Caudal del aspersor (L h⁻¹)

Sa: Espacio entre aspersores (m)

Sl: Espacio entre laterales (m)

Tiempo de riego (Tr).

Para el tiempo de posición del lateral, se lo obtiene con base a la lámina de riego y la intensidad de precipitación, se determinó mediante la siguiente ecuación:

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

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})

Numero de aspersores por lateral (NAL).

Se calculó con la siguiente ecuación:

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

Donde:

NAL : Número de aspersores por lateral (Unidad)

LTL : Longitud del terreno en dirección del lateral (m)

Sa : Espacio entre aspersores (m)

Longitud del lateral (LL).

Si el primer aspersor se ubica a la mitad de la separación entre aspersores ($Sa \cdot 2^{-1}$). Se determinó con la siguiente formula:

$$LL = Sa * (NAL - 0,5)$$

Donde:

LL : Longitud del lateral (m)

Sa : Espacio entre aspersores (m)

N_{AL} : Numero de aspersores por lateral (Unidad)

Caudal del lateral (QL).

Se determinó con la siguiente formula:

$$Ql = Qa * NAL$$

Donde:

QL : Caudal del lateral (L h^{-1})

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

NAL : Número de aspersores por lateral (Unidad)

Numero de laterales en área (NL).

Para determinar el número de laterales se empleó la expresión matemática:

$$NL = \frac{Ls}{Sl}$$

Donde:

NL: Número de laterales en el área (Unidad)

LS: 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 la calculo con la siguiente ecuación:

$$Q_s = Q_l * NL$$

Donde:

Q_s: Caudal de la línea secundaria (L h⁻¹)

Q_l: Caudal del lateral (L h⁻¹)

NL: Número de laterales funcionando simultáneamente (Unidad)

Nota: sabiendo que es un sistema de riego que consta de tubería principal, secundaria y laterales; se realizó el cálculo de la línea secundaria multiplicando el caudal de la lateral por el número de laterales funcionando simultáneamente.

Numero de laterales funcionando simultáneamente:

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

Se lo obtiene con la expresión:

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

Donde:

NLRS: Numero de laterales regadas simultáneamente

Q_l: Caudal del lateral (L h⁻¹)

Q: Caudal disponible (L h⁻¹)

5.5.4 *Diseño hidráulico*

El diseño hidráulico consiste en establecer las dimensiones de todos los componentes que forman el sistema de riego, red principal, secundaria, laterales, pérdidas de carga en las tuberías y accesorios, tomando en cuenta dos criterios: las pérdidas de carga por fricción (*hf*) y la diferencia de presiones no deben superar el 20% de la presión de servicio o nominal (*Ps*) del

aspersor, hay que tener presente que la velocidad del flujo debe estar entre 0,5 a 2,5 m/s, para esto se empleó la ecuación de Hazen-William, sin embargo en tubería secundaria y lateral se utilizó el factor de corrección de Christiansen para corregir la pérdida de carga por fricción por longitud considerándolas como tuberías de salidas múltiples.

Perdidas de carga por fricción longitudinal en las tuberías.

Para deducir las pérdidas de carga por fricción en las tuberías se usó la ecuación 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 manejando la fórmula:

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

Donde:

Q : Caudal en ($L\ h^{-1}$)

C : Coeficiente de fricción

D : Diámetro interior de la tubería (mm)

Perdidas de carga por fricción en la secundaria y lateral.

Las salidas múltiples como la tubería secundaria y lateral se determinan utilizando el gradiente hidráulico de las tuberías secundaria y lateral (J), multiplicando por la longitud de cada tubería, con la ayuda de 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 coloco a una distancia igual a la mitad de la separación entre aspersores, ($Ea/2$), por ello se manejó la fórmula:

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

Como es una tubería con multisalidas y como la lateral se colocó al inicio de la secundaria se determinó el coeficiente utilizando la fórmula:

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

Donde:

n : Número de aspersores en el lateral

B : Factor que depende del material de la tubería

Presión al origen del lateral.

Tomando en cuenta 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 ecuación:

$$\frac{Po}{y} = \frac{Pa}{y} + \frac{3}{4}hf - \frac{Ha}{2}Ha$$

Donde:

$\frac{Po}{y}$: Máxima presión en el aspersor o en el origen del lateral (m)

$\frac{Pa}{y}$: Presión de trabajo del aspersor

$\frac{Ha}{2}$: Desnivel geométrico entre los extremos del lateral

hf : Altura del elevador (m)

Ha : Perdida de carga del lateral (m)

Presión al final del lateral.

Se utilizó la siguiente formula.

$$\frac{Pn}{y} = \frac{Pa}{y} - \frac{1}{4}hf + \frac{Hg}{2}$$

Donde:

$\frac{Pn}{y}$: Presión final del lateral (m)

$\frac{Pa}{y}$: Presión de trabajo del aspersor (m)

5.5.5 Calidad del agua para riego

Se tomó la muestra de agua de riego en el canal de riego consapamba siguiendo el protocolo de muestreo del Laboratorio de Análisis Químico (LAQ) de la dirección de

investigación de la Universidad Nacional de Loja. La misma que permitió determinar: dureza, conductividad eléctrica, salinidad, pH, alcalinidad, relación entre sodio, calcio y magnesio del agua, relación de absorción del sodio (RAS) y sólidos totales.

5.6 Metodología para el tercer objetivo

Diseñar un plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el barrio Consapamba del cantón Espíndola.

Con base a la información obtenida para los anteriores objetivos y complementando análisis cualitativos y cuantitativos recomendados por la (FAO, 2018) se procedió a realizar la observación y evaluación en campo de la calidad del suelo.

5.6.1 Evaluación cualitativa

Se procedió a realizar monitoreo cualitativo de la calidad del suelo obteniendo información mediante la observación visual, el olor y el tacto. Se realizó los siguientes puntos.

Diagrama de predio

Se hizo observación cualitativa para representar la parcela a intervenir, esta se la realizo con un breve recorrido donde permita identificar los factores determinantes de la dinámica del suelo. Una vez realizada la observación se procedió a seleccionar los diferentes puntos característicos de la parcela como zona alta, zona baja, zonas de acumulación, presencia de erosión, zonas de menor desarrollo vegetal, con el fin de realizar la caracterización de cada una de ellas.

Evaluación del suelo de la parcela.

Se realizó calicatas, las cuales ayudan a ampliar el conocimiento de la dinámica del suelo a medida que cambia su profundidad, en función del perfil del mismo. Es decir, se buscó indagar sobre aspectos relevantes que se puedan observar en los diferentes horizontes, como son: color, textura (proporción de arena, limo, arcilla), profundidad, capacidad de infiltración, profundidad de raíces, estructura, entre otros.

Para este punto se tomó en cuenta la descripción antes realizada con criterios de la “Guía para descripción de suelos” de la FAO (2006) y con base a esta observación se pudo ir evaluando cada indicador en la “Tarjeta de evaluación” Tabla 16 en una escala entre 1 y 10, o simplemente en categorías que comprenden estos valores así: pobre (1,2 o 3), regular (4, 5 o 6) y buena (7, 8, 9 o 10) con criterios claros y parámetros bien definidos.

Criterios de evaluación cualitativa.

se incluyó en la tarjeta de evaluación información relacionada con los siguientes aspectos:

- *Compactación*

Para determinar este parámetro se fue apreciando la resistencia a la penetración en el suelo, mediante la utilización de un cuchillo, introduciéndolo en el suelo en repetidas ocasiones. Así mismo se fue observando si existían cambios de dirección y forma de las raíces que pudieron indicar la presencia de un horizonte compactado.

- *Erosión*

Al observar el predio en estudio, se notó la presencia de zanjas en dirección de la pendiente, lo cual es un indicador de pérdida de suelo y por ende de procesos erosivos.

- *Infiltración de agua*

Se valoró este factor analizando la clase textural del suelo y relacionándola con la capacidad de infiltración de agua que le corresponda y correlacionando este valor con la VIB obtenida en la prueba de infiltración

- *Estructura del suelo*

Se la determino aplicando fuerzas externas, analizando en el campo la forma, la resistencia en seco y húmedo con el fin de observar si el suelo es capaz de mantener el tipo (laminar, plástico, bloques, granular), tamaño (muy fino, fino, medio, gruesa, muy gruesa) y grado (débil, moderado, fuerte, sin grado).

- *Materia orgánica*

La evaluación de la materia orgánica se realizó observando el color del suelo, el cual en general será más oscuro en la medida que se presente mayor contenido de materia orgánica “Guía para la Descripción de Suelos” de la FAO (2006).

- *Cobertura vegetal*

Se observó el porcentaje de área con cobertura y la permanencia de la cobertura. Así mismo si existe la presencia de cercas vivas.

- *Actividad biológica del suelo*

Un indicador es el contenido de lombrices de tierra, encontrándose que a mayor número de lombrices se presume que hay una mayor actividad biológica en el suelo; para esto se buscó en los diferentes partes del predio y recordar que regularmente estas no se encuentran superficialmente en el suelo, sino que se sugiere que este se remueva entre los primeros 10 a 30 cm. del suelo.

- *Desarrollo de raíces*

Se observó la profundidad y la exploración efectuada por las raíces en el suelo.

- *Presencia de carbonatos*

Se aplicó gotas de ácido clorhídrico sobre un terrón el cual si genera burbujas estará indicando la presencia de carbonatos.

5.6.2 Evaluación cuantitativa

Se realizó análisis cuantitativos de los suelos, a fin de conocer sus características físicas, químicas.

Métodos de muestreo de suelos.

Para llevar a cabo la evaluación cuantitativa del suelo, se realizó un muestreo representativo del suelo, para el cual se barreno el terreno en diferentes secciones en forma de zigzag de tal manera que cada sección presente características similares entre sí, a saber: pendiente, tipo de cultivo, prácticas de manejo, vegetación, clima (altura), régimen hídrico y degradación del suelo.

Posteriormente se realizó análisis químicos de pH, MO, CE, CIC, macroelementos.

Uso e interpretación de los datos cuantitativos.

Para la interpretación realizo una valoración rápida y semicuantitativa de la calidad de los suelos, combinando la información cualitativa y cuantitativa los cuales también pueden aportar resultados acerca de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos, que, aunque son menos precisos que los obtenidos en el laboratorio, presentan como ventajas que son accesibles y fáciles de utilizar.

6. Resultados

6.1 Resultados para el primer objetivo

6.1.1 Características físicas del suelo de la zona de estudio “Consapamba”

En la Tabla 1 y 2, se detalla la descripción del perfil, horizontes y capas del suelo del predio “Consapamba”.

Calicata 1

El perfil descrito, ubicado en las coordenadas planas 674 382,109 m E y 9 492 684,415 m N y a una altitud promedio de 1 744 msnm, con cultivo de maíz y presencia de restos de cosechas; y situada al noreste del predio. Con pendiente del 15 %.

Tabla 1.

Descripción del perfil del suelo de la calicata uno predio “Consapamba”.

Profundidad (cm)	Características físicas y morfológicas del pedon
0-40 Ap	En seco pardo amarillento (10 YR 5/6), y en húmedo pardo oscura (10 YR 3/3); arcillosa; bloques subangulares medios grado fuerte; muy duro y en húmedo firme, muy plástico y adhesivo; raíces muy finas, finas y escasas; poros muy finos, finos y abundantes; sin reacción a HCL; limite claro.
40-83 B	En seco marrón claro (7.5 YR 6/3), y en húmedo marrón (7.5 YR 4/3); franco; bloques medios grado moderado; friable en húmedo; ligeramente plástico y ligeramente adhesivo; raíces muy finas, finas comunes; poros muy finos, finos y abundantes; moteados marrones fuertes (7.5 YR 5/6); reacción al HCL sin reacción; limite lineal claro.
83-120 y mas BC	En húmedo gris oscura (7.5 YR 4/1); franco; bloques subangulares medios grado fuerte; friable en húmedo, plástico y adhesivo; raíces finas, finas comunes y medias; poros muy finos, finos, abundantes; reacción al HCL sin reacción; moteados marrones fuertes (7.5 YR 5/6); reacción al HCL sin reacción; limite lineal.

Se observó ausencia de lombrices en los tres horizontes descritos, así mismo, se notó que la calicata no emana olor alguno que pudiera indicar problemas de mal drenaje, en el horizonte tres se logró ver la presencia de raíces gruesas en descomposición.

Calicata 2

El perfil descrito se realizó en una zona representativa del predio del área de estudio en las coordenadas planas 674 395,110 m E y 9 492 607,669 m N y a una altura promedio de 1753 msnm con pendiente del 18%.

Tabla 2.*Descripción del perfil del suelo de la calicata dos, predio "Consapamba".*

Profundidad (cm)	Características físicas y morfológicas del pedon
0-20 Ap	En húmedo gris oscuro (10 YR 4/1); franco arenosas; bloques subangulares medios grado fuerte, gruesas; en seco duro y en húmedo firme, plástico y adhesivo; raíces muy finas, finas y abundantes; poros muy finos, finos y comunes; sin reacción a HCL; límite lineal claro.
20-41 B	En húmedo gris rojizo oscuro (5 YR 4/2); franco; bloques subangulares medios; friable en húmedo; plástico y adhesivo; raíces muy finas, escasas, finas; poros muy finos, finos y abundantes; reacción al HCL sin reacción; límite lineal claro.
41-70 y más BC	En húmedo gris oscura (5 YR 4/1); arenoso; sin estructura; no plástico y no adhesivo; presencia raíces finas y muy finas comunes; sin reacción al HCL.

A partir del horizonte tres se observa roca meteorizada en un 80 % (Regolito zaprolito)

6.1.2 Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas permiten conocer mejor las actividades agrícolas como, disponibilidad de nutrientes, el drenaje, la irrigación, la conservación de suelos y agua.

Con relación a esto es necesario calcular las siguientes propiedades:

Densidad aparente.

Tabla 3.*Tabla de densidad aparente.*

Horizonte	Profundidad (cm)	Da (g cm ⁻³)	Promedio
Calicata 1	Ap	0 - 25	1,06 1,22
	B	25 - 45	1,14 1,09
Calicata 2	Ap	0 - 25	1,05 1,21
	B	25 - 60	1,05 1,23

En la Tabla 3 se observa que los valores de densidad aparente en los horizontes Ap y B son de 1,14 y 1,12 g cm⁻³ respectivamente, mientras que, para la calicata 2 los valores son 1,13 y 1,14 g.cm⁻³.

Textura.

Tabla 4.*Tabla de textura del predio "Consapamba".*

Lugar	Textura (%)			Clase textural
	Arena	Limo	Arcilla	
Consapamba	42	40	18	Franco (Fo)

De acuerdo a la Tabla 4, la clase textural del suelo de la zona de estudio se clasifica como Franco (Fo).

Velocidad de infiltración.

Es la relación del movimiento del agua en la parte edáfica del suelo donde tiene lugar el desarrollo radicular de las plantas. En la Tabla 5 se muestra el valor de velocidad de infiltración básica (VIB) del suelo de la zona de estudio.

Tabla 5.

Tabla de infiltración básica y su clasificación.

Prueba de infiltración	VIB (mm h⁻¹)	Clasificación
I-1	14,14	Moderadamente lenta

La infiltración básica que presenta este suelo franco es de 14,14 mm h⁻¹ (Anexo 6), con una clasificación moderadamente lenta.

Constantes hidrofísicas.

En la Tabla 6 se presenta los contenidos de humedad en unidades volumétricas a diferentes tensiones.

Tabla 6.

Valores de saturación, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) del área de estudio.

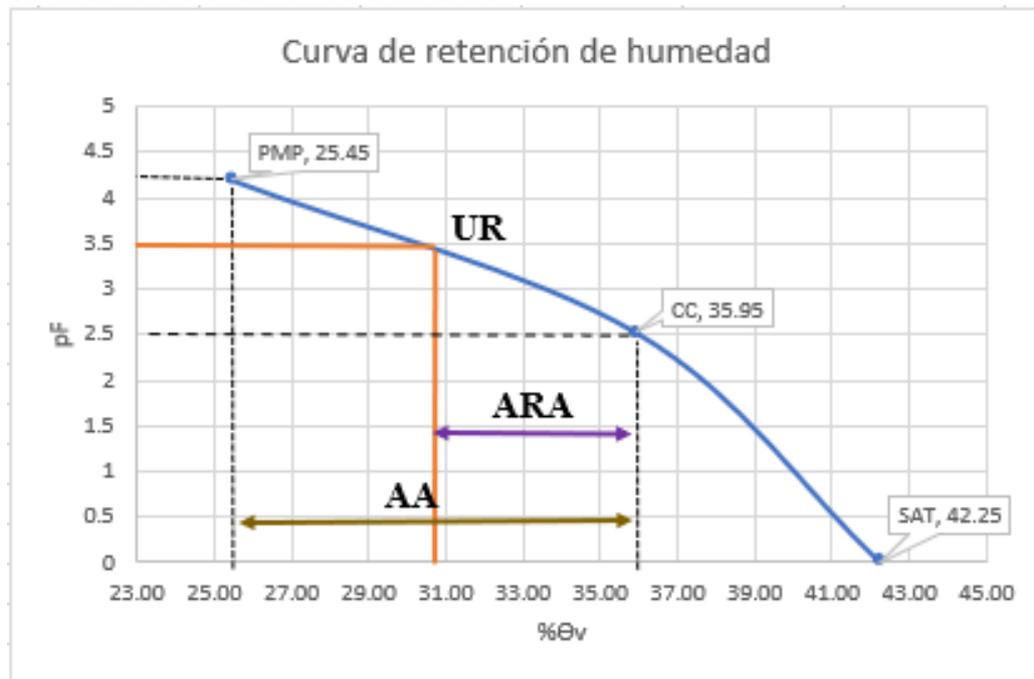
Horizontes	Profundidad (cm)	Saturación pF 0 %	CC pF 2,52 %	PPM pF 4,20 %
C1H1	0 - 40	47,80	38,00	26,70
C2H1	0 - 40	36,70	33,90	24,20
	Promedio	42,25	35,95	25,45

La saturación a pF 0 para los dos primeros horizontes de las dos calicatas son 47,80 y 36,70 % con promedio de 42,25 %, en cuanto a la capacidad de campo de los dos primeros horizontes es de 38,00 % y 33,90 % lo que representa un promedio de 35,95 % en un pF de 2,52 y por último el punto de marchitez permanente en los dos horizontes de las calicatas uno y dos es de 26,70 y de 24,20 % con un promedio de 25,45 % a pF 4,20.

6.1.3 Curva de retención de humedad

Figura 5.

Curva de retención de humedad del suelo.



La Figura 3, muestra la curva de retención de humedad del suelo que se elaboró con las constantes hidrofísicas: CC= 35,95 (pF 2,52); PMP=25,45 (pF 4,2) y el estado de saturación de 42,25 (pF 0). Con estos valores se determinó el agua aprovechable (AA) el cual es de 10,50 % que expresa la cantidad de agua fácilmente disponible para el desarrollo de la planta; y una aireación de 6,30 %.

6.1.4 Propiedades químicas

En la Tabla 7 se muestran los parámetros químicos evaluados.

Tabla 7.

Parámetros químicos analizados.

Parámetro	Unidad	Sector 1	Interpretación
pH	-	8,22	Ligeramente alcalino
C.E	mS cm ⁻¹	0,34	Normal
CIC	meq 100g ⁻¹	68,40	-
MO	%	2,67	Medianamente rico

El pH del suelo de la zona de estudio es de 8,22, el cual tiene una clasificación de ligeramente alcalino, en cuanto a la conductibilidad eléctrica del sector es de 0,34 mS cm⁻¹ clasificándose como un suelo con conductividad normal, la capacidad de intercambio catiónico

es de 68,4 meq 100 g⁻¹; y por último la materia orgánica en promedio es de 2,67 %, lo cual equivale a un nivel medio en materia orgánica.

Macroelementos

En la Tabla 8 se presenta los macro elementos del suelo en estudio.

Tabla 8.

Macroelementos analizados.

Elemento	N	P	K	Ca	Mg
Unidad	ppm	ppm	meq 100g ⁻¹	meq 100g ⁻¹	meq.100g ⁻¹
Sector 1	11,80 B	4,60 B	0,32 M	2,,51 A	4,04 A

B= Bajo, M= Medio, A= Alto

6.2 Resultados del segundo objetivo

6.2.1 Caudal de la fuente de abastecimiento

El caudal de agua que abastece al área de estudio, es del canal de riego “Consapamba”; en el cual se realizó un aforo por el método del flotador que dio un valor 54.13 l s⁻¹, que servirá para el diseño del sistema de riego.

6.2.2 Topografía

Se obtuvo el modelo digital del terreno con curvas de nivel a cada 1,0 m, el mismo que presenta un área de 0,97 ha, el terreno esta entre la cota 1715,50 m.s.n.m en la parte inferior y la cota 1750,250 m.s.n.m que, en la parte superior del terreno, y la fuente de agua se ubica en la cota 1750,750 m.s.n.m lo cual permite definir que existe una diferencia de altura entre la cota superior e inferior de 34,75 m.

6.2.3 Diseño agronómico

Se estableció los requerimientos hídricos en la época de máxima demanda de agua para cultivo de maíz, por lo cual, se determinó las necesidades de agua de los cultivos y los parámetros que se requiere en el sistema de riego.

Evapotranspiración del cultivo de referencia (ETo).

Con datos de temperatura y radiación solar de la estación meteorológica de Amaluza y por el método de Hargreaves, se determinó los valores ETo en mm.dia⁻¹ como se observa en la Tabla 9.

Tabla 9.

Valores de evapotranspiración de referencia (ETo).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ETo (mm.dia ⁻¹)	4,6	4,5	4,4	4,4	4,0	4,0	4,0	4,4	4,8	4,8	4,8	4,6

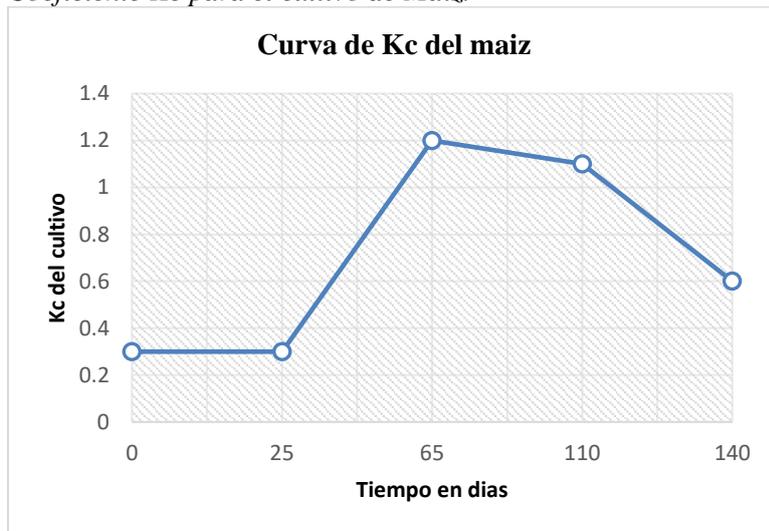
ET_o (mm.mes ⁻¹)	142,5	126,8	137,6	132,7	125,0	120,1	125,1	135,8	142,5	148,9	142,9	142,8
-----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Como se puede observar, los valores mensuales de evapotranspiración de referencia tienen similitud en la mayoría de meses, teniendo el menor valor en el mes de junio con 120,1 mm mes⁻¹ y con una máxima de 148,9 mm mes⁻¹ en el mes de octubre.

Coefficiente del cultivo (Kc).

Figura 6.

Coefficiente Kc para el cultivo de Maíz.



El coeficiente del maíz en la primera etapa tiene valores de 0,30, en la etapa intermedia de 1,20 y en la etapa final de 0,60 como se observa en la Figura 6.

Evapotranspiración del cultivo (Etc.).

Con los valores de la ET_o y Kc se calculó la ETc ; la ETc con mayor índice de requerimiento hídrico para el cultivo de maíz corresponde al mes de agosto (4,86 mm día⁻¹).

Tabla 10.

Valores de Evapotranspiración del cultivo (Etc.) para la zona de estudio.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
ET_o (mm día ⁻¹)	-	-	-	-	-	4,00	4,03	4,38	4,75	4,80	-	-
Kc	-	-	-	-	-	0,45	1,20	1,11	0,90	0,35	-	-
ETc (mm día ⁻¹)	-	-	-	-	-	1,80	4,84	4,86	4,28	1,68	-	-
ETc (mm mes ⁻¹)	-	-	-	-	-	54,04	150,09	150,74	128,28	52,13	-	-

Índice de humedad.

Tabla 11.

Índice de humedad.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Pm (mm mes ⁻¹)	105,3	130,3	148,0	104,2	49,8	8,60	4,00	3,1	11,8	51,0	69,5	77,6
Eto (mm mes ⁻¹)	142,5	126,8	137,6	132,7	125,0	120,1	125,1	135,8	142,5	148,9	142,9	142,8
Ih	0,7	1,0	1,1	0,8	0,4	0,1	0,03	0,02	0,1	0,3	0,5	0,5

Las precipitaciones medias máximas, como se observa en la tabla se dan desde enero hasta abril con valores por encima de los 100 (mm mes⁻¹).

6.2.4 Requerimientos hídricos del cultivo

Se requiere un volumen de agua máximo en el mes de agosto y un mínimo en el mes de junio.

Tabla 12.

Requerimientos hídricos del cultivo.

Mes	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep	oct	nov	dic
Pm (mm mes ⁻¹)	142,5	126,8	137,6	132,7	125,0	120,1	125,1	135,8	142,5	148,9	142,9	142,8
Pe (mm mes ⁻¹)	77,72	139,0	155,2	82,6	22,34	0,00	0,00	0,00	0,00	24,08	41,0	53,8
ETc (mm mes ⁻¹)	-	-	-	-	-	54,04	150,0	150,7	128,2	52,13	-	-
RH (mm.mes ⁻¹)	-	-	-	-	-	54,04	150,0	150,7	128,2	28,05	-	-
Eficiencia	-	-	-	-	-	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	-	-

Parámetros de riego.

Tabla 13.

Parámetros generales de riego para el área de estudio.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Lamina de riego	Lr	mm	36,45
Frecuencia de riego	Fr	días	6
Tiempo de riego	t	h	7,29
Características del aspersor			
Marca	-	-	NaanDanJain 5022 SD-U
Color de boquilla:	-	-	Naranja 28
Presión	-	Bar	1,5
Caudal	-	m ³ h ⁻¹	0,405
Diámetro húmedo	DH	m	19

Altura del elevador	-	m	2
Intensidad de precipitación del aspersor	Ip	mm h ⁻¹	5
Características del lateral			
Longitud lateral	Ll	m	40,50
Caudal del lateral	Ql	m	2,02
Numero de laterales por área	NL	U	7
Caudal de la línea secundaria	Qs	l h ⁻¹	3,94
Numero de laterales funcionando simultáneamente	-	U	96

La lámina de riego rápidamente aprovechable ajustada (LARAaj) es de 29.16 mm considerando la frecuencia ajustada de 6 días. Seguidamente se obtiene la lámina total de riego la cual se la trabajo con una eficiencia de riego del 80 % con un valor de 36.45 mm; para la selección del aspersor se tomó en cuenta el desnivel entonces se eligió el Naandanjain 5022 SD-U, en cuanto al marco de riego se considera el 60% del diámetro humado que proporciona el aspersor ya que la velocidad del viento es 1.5 m s⁻¹ debido a esto se consideró un marco de riego de 9 x 9 m recomendación del fabricante. El cálculo de la intensidad de precipitación si cumplió la condición ya que dio un resultado de 5 mm h⁻¹ menor a la velocidad de infiltración básica de 14.1 mm h⁻¹.

6.2.5 Diseño hidráulico

Tabla 14.

Pérdida de carga en la red de tubería.

Tubería	Q (l/s)	Longitud (m)	Ø exter (mm)	Ø inter (mm)	V(m/s)	J (m/100)	f (m)	F	F (m)
Principal	3,94	98,90	75	71,40	0,98	1,34	1,33		1,33
Múltiple	3,94	63	75	71,40	0,98	1,34	0,85	0,409	0,35
Lateral ₁	0,56	45	40	37,00	0,52	0,90	0,12	0,38	0,15
Accesorios									0,17
Hf _{Total}									2,00

Fuente: El autor

Las pérdidas de carga en la red de tuberías según el método de Hazen-Williams, el caudal en la tubería principal es de 3,94 l s⁻¹ y longitud de 98,90 m con un diámetro interno de 71.40 mm y una velocidad de 0,98 m s⁻¹, con un gradiente hidráulico 1,34 m 100 m⁻¹ dando una pérdida de carga de 1,33 m. En cuanto a la secundaria el caudal que circula es de 3,94 l s⁻¹ con longitud de 63 m un diámetro interno de 71,40 mm y una velocidad de 0,98 m s⁻¹, el coeficiente de Christensen de 0,409 y una pérdida de carga de 0,35m.

Por su parte, la tubería lateral tiene un caudal de $0,56 \text{ s}^{-1}$, con longitud de 45 m; un diámetro de 37,00 mm, velocidad de $0,52 \text{ m s}^{-1}$; el gradiente hidráulico es de $0,90 \text{ m } 100 \text{ m}^{-1}$ y un coeficiente de Christensen de 0,38 y pérdida de carga de carga de 0,15 m, finalmente la pérdida de carga en cuanto a accesorios es de 0,17 m todo esto dándonos un total en pérdidas de 2,00 m.

Condición de diseño.

La condición consiste, que no se debe superar el 20 % de la presión nominal la diferencia de presiones entre los aspersores con máxima y mínima presión.

Tabla 15.

Presiones en la lateral más crítica.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Longitud lateral	Ll	m	45,00
Presión al origen del lateral	Ho	m	16,00
Presión al final del lateral	Hn	m	16,07

Las presiones en la lateral deben cumplir la condición:

$$\frac{Po}{Y} = \frac{Pn}{Y} = hf \leq 0,2 \frac{Pa}{Y}$$

$$15,95 - 16,09 = hf \leq 0,2 * 15,95$$

$$-0,17 \leq 3$$

El diseño cumple la condición en la diferencia de presiones del lateral más crítico.

6.2.6 Calidad del agua

Se obtuvo valores pH, valor CE (mmhos cm^{-1}), Ca, Mg, Na, K, Cl, CO_3 , HCO_3 , como se muestra en el Anexo 9.

6.2.7 Lista de materiales

El presupuesto de materiales y accesorios del sistema de riego por aspersión para el predio se muestran en la tabla siguiente, el cual tiene un costo de \$.3 737.36

Tabla 16.

Presupuesto para el diseño de riego por aspersión en el predio Consapamba

DESCRIPCIÓN	U	CANT.	P. UNIT	TOTAL
CABEZAL DE CONTROL				
TUBO E/C 75MM X 6M 0,63mpa (91psi)	U	1,00	24,93	24,93
CODO 75 X 90 GR PVC PN16	U	4,00	2,84	11,36
VÁLVULA 3" COMPUERTA HG DOUBLE LIN	U	1,00	91,24	91,24
MANÓMETRO 10 ATM (0 A 140 PSI) C/GLICERINA 1/4"	U	2,00	14,75	29,50
FILTRO A 3" X 120 MESH OBLIC C/ABRAZADERA ANILLOS - FLH	U	1,00	262,64	262,64
VÁLVULA AIRE 1" SIP DOBLE	U	1,00	53,84	53,84
MONTURA 75 X 1" ITALIA	U	1,00	3,89	3,89
ADAPTADOR M 75 X 3" PVC PN16	U	4,00	11,74	46,96
UNIVERSAL 75 MM PVC	U	1,00	20,06	20,06
ADAPTADOR H 75 MM X 3" PVC R/F PN16	U	2,00	9,37	18,74
MONTURA 75 X 1/2" ITALIA	U	2,00	3,46	6,92
BUSHING 1/2" M X 1/4" H TEFEN	U	2,00	2,00	4,00
MONTURA 75 X 1"	U	1,00	5,11	5,11
TUBERÍA PRINCIPAL				
TUBO TG P EC 75MM X 6M 0,63mpa (91psi)	U	8,00	24,93	199,44
CODO 75 X 90 GR PVC PN16	U	2,00	2,84	5,68
TEE E/C PVC PN16	U	1,00	3,54	3,54
TUBERÍA SECUNDARIA				
TUBO TG P EC 75MM X 6M 0,63mPa	U	21,00	24,93	523,53
VÁLVULA 75 MM PVC M/ROJO 1 UNIVERSAL	U	2,00	24,67	49,34
ADAPTADOR M 75 X 3" PVC PN16	U	4,00	11,74	46,96
CODO 75 X 90 GR PVC PN16	U	4,00	2,84	11,36
CODO 75 X 45 GR PVC PN16	U	2,00	2,93	5,86
ADAPTADOR M 75 X 3" PVC PN16	U	2,00	11,74	23,48
TAPA 3" HEMBRA ROSC PLAST SIP	U	2,00	1,29	2,58
TUBERÍA LATERAL				
TUBO TG P EC 40MM X 6M 1,00mpa	U	105,00	10,62	1115,10
MONTURA 75 MM ROSCA 1 1/4"	U	14,00	1,72	24,08

ADAPTADOR M 40 X 1 1/4" PVC PN16	U	56,00	5,11	286,16
CODO 40 X 45 E/C PVC PN16	U	14,00	0,80	11,20
TAPA 1 1/4" HEMBRA ROSC PLAST	U	14,00	0,24	3,36
MONTURA 40 X 3/4" ITALIA	U	68,00	1,72	116,96
ADAPTADOR M 25 X 3/4" PVC PN16	U	136,00	0,64	87,04
TUBO TG P EC 25MM X 6M 1mpa	U	28,00	3,39	94,92
ASPERSOR NAANDANJAIN 5022SD-U 1/2" - HEMBRA DE 3/4"	U	68,00	6,50	442,00
ACCESORIOS				
PEGA 1 GALÓN	U	1,00	64,86	64,86
LIMPIADOR 1 GALÓN	U	1,00	52,42	52,42
TEFLÓN MV AMARILLO CLARO 1/2" x 10 MTS	U	50,00	0,30	15,00
OTROS				
DESMONTE Y LIMPIEZA	ha	0,6	50,0	30,0
REPLANTEO Y NIVELACIÓN	ha	0,6	200,0	120,0
EXCAVACIÓN SIN CLASIFICAR A MANO	m ³	71,9	8,5	611,2
COSTO TOTAL				3737.36

Fuente: Riego Ecuador, (2023)

6.3 Resultados para el tercer objetivo

6.3.1 Evaluación cualitativa

Diagrama del predio

Tabla 17.

Diagrama de parcela y dinámica del suelo.

DIAGRAMA DE PARCELA Y DINÁMICA DEL SUELO	
ESPACIO PARA DIAGRAMA DE PARCELA	
	<p>Observaciones Claves</p> <p>No se observaron factores que pueden afectar al estudio.</p>
<p>Uso actual: El suelo del terreno de estudio presento una cobertura de restos de cultivo de maíz, yuca y presenta algunos árboles frutales.</p>	
<p>Estado general de la parcela: La parcela en general presenta rastros de cultivos con buena producción.</p>	
<p>Historia de uso y manejo: A lo largo del tiempo el suelo se lo ha trabajado por una agricultura familiar la cual se a caracterizado por llevar una producción de cultivos de ciclos cortos y una labranza convencional.</p>	
<p>Paisaje y Topografía: En terreno presenta pendiente.</p>	
<p>Presencia de erosión: se pudo observar que en algunas partes de la parcela hay rasgos de erosión.</p>	

El área presenta las mismas características en cuanto a esquema de uso del suelo, historia de uso, manejo, paisaje, topografía, entre otros.

Evaluación del suelo de la parcela

Tabla 18.

Evaluación calicata 1.

Código de cajuela: 1		Coordenadas		N	9 492 684, 415						
Altitud: 1744				E	674 382,109						
EVALUACIÓN DEL SUELO											
Calidad del suelo			Pobre		Regular		Bueno				
INDICADORES			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ap	Lombrices de tierra		x								
	Materia Orgánica		x	x	x						
	Textura		x	x	x	x					
	Raíces		x	x	x	x					
	Olor		x	x	x	x	x	x			
	Compactación superficial		x	x	x	x	x	x			
	Estabilidad estructural		x	x	x	x	x				
	Estado de las plantas		x	x	x	x	x	x			
	pH		x	x	x	x					
B	Olor		x	x	x	x	x	x			
	Compactación profunda		x	x	x	x	x				
	Infiltración profunda		x	x	x	x	x				
	Profundidad efectiva		x	x	x	x	x	x			
	pH		x	x	x	x					
	Raíces		x	x	x						
Reacción de carbonatos		Ap no	Textura		Ap arcilloso		Valor pH			Ap	8
		B no								B	8

La evaluación se estima en categorías que comprenden valores así: pobre (1,2 o 3), regular (4, 5 o 6) y buena (7, 8 o 9). La tarjeta de evaluación 1 indica que en cuanto a los parámetros cualitativos evaluados en el área de estudio se encuentra en los rangos de pobre a regular.

Tabla 19.

Evaluación calicata 2.

Código de cajuela: 2		Coordenadas		N	9 492 607,669				
Altitud: 1753				E	674 395,110				
EVALUACIÓN DEL SUELO									

Calidad del suelo		Pobre			Regular			Bueno		
INDICADORES		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ap	Lombrices de tierra	x								
	Materia Orgánica	x	x	x						
	Textura	x	x	x	x					
	Raíces	x	x	x	x					
	Olor	x	x	x	x	x	x			
	Compactación superficial	x	x	x	x	x	x			
	Estabilidad estructural	x	x	x	x	x				
	Estado de las plantas	x	x	x	x	x	x			
	pH	x	x	x	x					
B	Olor	x	x	x	x	x	x			
	Compactación profunda	x	x	x	x	x				
	Infiltración profunda	x	x	x	x	x				
	Profundidad efectiva	x	x	x	x	x	x			
	pH	x	x	x	x					
	Raíces	x	x	x						
Relación de carbonatos		Ap	Textura		Ap arcilloso	Valor			Ap 8	
		B			B arcilloso				B 8	

La tarjeta de evaluación 2 presenta los mismos rangos que van desde pobre a regular.

6.3.2 Evaluación cuantitativa

Análisis cuantitativos

Estos análisis se realizaron en laboratorio pueden ser apreciados en las tablas 7 y 8.

6.3.3 Plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz

Según el (INIAP 2021), para que el cultivo de maíz tenga éxito debe cumplir tres aspectos fundamentales tales como:

- **Satisfacer una necesidad.** El agricultor busca generar recursos económicos para satisfacer sus necesidades, entonces, el cultivo debe ser rentable y proporcionar ganancias, por ello, se hace indispensable alcanzar un buen rendimiento.

- **Producir con calidad.** Al sembrar el agricultor se compromete a brindar un buen cuidado al cultivo, por ejemplo, implementar las buenas prácticas agrícolas (BPA) las que garantiza una producción con calidad, lo que sin duda aumentara el rendimiento.
- **Sostenibilidad.** Un buen manejo de parcela consiste en cuidar y proteger los recursos naturales: suelo, agua y medio ambiente. Dado que, el suelo es el principal recurso disponible para el agricultor, entonces es necesario protegerlo, prevenir la erosión y mejorar continuamente su fertilidad física y química con la adición de abonos orgánicos.

Con el fin de dar cumplimiento a los puntos antes mencionados se realizó el diseño de un plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz tomando como referencia los siguientes documentos “Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales” de la FAO (2018) y la “Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana” del INIAP (2021).

6.3.4 Pasos del plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz

Devuelva al suelo los restos del cultivo anterior.

Después de la cosecha de maíz, es recomendable trozar los restos del cultivo, en este caso se lo realiza manualmente ya que las condiciones del terreno no permiten el uso de maquinaria, esto permitirá una rápida, completa y uniforme descomposición de residuos, el control natural de malezas, insectos y enfermedades, gracias a la acción de microorganismos nativos del suelo. Además, funciona como un cobertor para proteger el suelo, guardar humedad en época de verano.

Prepare el suelo para la siembra.

Tomando en cuenta que las pendientes van desde 13 % hasta el 55 % (Anexo 9) en la mayor parte del área del terreno, se recomienda una labranza mínima, lo cual consiste en intervenir lo menos posible el suelo al momento de cultivarlo, de tal manera que no se interfiera en los procesos naturales que se desarrollan en él. La siembra del maíz se la realizara sobre el suelo cubierto con residuos del cultivo anterior, con lo cual se conserva la humedad y se reduce la pérdida de suelo causada por la lluvia y el viento en suelos con riesgo de erosión como los

del área de estudio. Además, no se realiza aporque del maíz y las malas hierbas se controlan con herbicidas.

Siembra.

Se recomienda hacer la intercalación de cultivos, es decir la siembra de leguminosas en la época de invierno para aprovechar el nitrógeno que fijan. Maíz con chocho, haba, fréjol y otros cultivos como calabaza o ají son alternativas que el agricultor puede utilizar.

Planificación.

Para obtener una buena producción, se debe planificar con suficiente tiempo el próximo ciclo. Este es el momento de definir ¿cuánto se va a sembrar? ¿qué variedad se va a sembrar?, y ¿qué producto se quiere obtener? por ejemplo: grano seco, choclo, harina, semilla, forraje, entre otros.

Además, es de suma importancia realizar un análisis, el cual se basa en llevar un registro de los gastos y las labores realizadas durante el ciclo, deben ser sumados y comparados con el ingreso por la venta de la producción obtenida Tabla 17, y si el resultado es favorable se repetirá las labores de manejo realizadas; pero si cree que el rendimiento debe mejorar, es necesario preguntarse ¿a qué se debió el bajo rendimiento?

6.3.5 Obras biomecánicas para el manejo del suelo y los flujos de agua para el área de siembra de maíz y las zonas contiguas con riesgo de erosión

Obras de conservación de suelos y agua en laderas.

Desde un punto de vista técnico-científico, parcelas con más del 50% de pendientes se recomiendan para ocupación forestal y en pendientes con menos de ese porcentaje de pendiente, se sugieren las siguientes obras de conservación de suelo y agua:

- **Trazado de curvas a nivel.** Las curvas de nivel son líneas o marcas imaginarias que tienen la misma altura en cualquier punto de la pendiente. Para trazar las curvas, se utilizan herramientas simples como el Aparato A, y siguiendo la trayectoria de estas curvas, se construyen la mayoría de los trabajos físicos de conservación de suelo y agua.

Tabla 20.*Distancia entre obras de conservación de suelo según el porcentaje de la pendiente.*

Obras de conservación de suelo según la pendiente	Suave > 15 %	Moderada 15 – 30 %	Fuerte 30 – 50 %
Barreras vivas	15 – 30 metros	10 – 15 metros	4 – 10 metros
Barreras muertas	10 – 20 metros	6 – 10 metros	4 – 6 metros
Acequias	10 – 20 metros	8 – 10 metros	6 – 8 metros
Diques de 1 metro	4 – 12 metros	2 – 4 metros	1,3 – 2 metros

- **Establecimiento de barreras vivas.** Las barreras vivas son hileras de plantas sembradas a distancias cortas, en curvas de nivel, con el propósito de conservar el suelo y protegerlo de la erosión. La distancia entre curvas depende de la pendiente y del tipo de suelo (Tabla 18). Combinan bien con otras técnicas como las zanjas.
- **Acequias o zanjas a desnivel para drenar el exceso de agua de lluvia.** Son canales construidos con 1 % de desnivel en el sentido transversal a la pendiente, para recoger las escorrentías y desviar los excedentes de la superficie cultivada sin provocar erosión ni cárcavas.
- **Formación de mini terrazas para reducir la erosión.** Se construyen en parcelas de ladera por la acción continua de arado mínimo en los mismos surcos, siguiendo las curvas a nivel y dejando intacto el suelo de los costados. Para reducir o evitar la erosión, se recomienda combinarlo con otras obras de protección del suelo: zanjas de infiltración con barreras vivas. Las mini terrazas ayudan a mantener los niveles de materia orgánica del suelo y protegen la macrofauna.

6.3.6 Abonar y fertilizar de forma adecuada su cultivo

INIAP (2021) señala que el maíz en la Sierra del Ecuador extrae entre 80 a 160 kg ha⁻¹ de N del suelo, 15 a 40 kg de P, 70 a 140 kg de K, 5 a 20 kg de S y 10 a 25 kg de Mg, dependiendo de la variedad de maíz, clima, manejo y otras características del suelo. La extracción de nutrientes que realiza la planta debe devolverse al suelo para una fertilización eficiente. Se recomienda el análisis químico del suelo para un manejo integral de la fertilización.

Tabla 21.
Elementos nutritivos necesarios para el maíz.

Elemento	kg ha⁻¹
Nitrógeno	80 - 160
Fósforo	15 - 40
Potasio	70 - 140
Magnesio	10 - 25
Azufre	5 - 20

Fuente: (INIAP, 2021).

Según el análisis químico (Tabla 8) realizado para el suelo de este trabajo de investigación y con base a los requerimientos del maíz se debe agregar: 126,4 kg ha⁻¹ de N y 26,9 kg ha⁻¹ de P.

En general, se recomienda aplicar entre 100 a 120 kg ha⁻¹ de N, entre 30 a 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ y entre 80 a 100 kg ha⁻¹ K₂O; lo que se puede cubrir con los fertilizantes mencionados a continuación:

Tabla 22.
Cantidad de fertilizante a utilizar.

Opciones de fertilización	Fertilizante	Hectárea 10 000 m²
Opción 1	10-30-10	150 kg
	Sulpomag	50 kg
	Muriato de Potasio	100 kg
	Urea	200 kg
Opción 2	18-46-0	100 kg
	Sulpomag	100 kg
	Muriato de Potasio	100 kg
	Urea	200 kg
Opción 3	10-35-15 + elementos menores	150 kg
	Muriato de Potasio	100 kg
	Nitromag	100 kg
	Urea amarilla (amida)	150 kg

Fuente: (INIAP, 2021).

Además, el INIAP (2021) menciona que la aplicación del fertilizante debe ser en la base de la planta (5 a 10 cm) para brindarle a la planta una alta concentración de nutrientes cerca de las raíces en desarrollo, donde la absorción será más fácil. La aplicación de los fertilizantes se debe hacer coincidir con la aplicación de riegos para asegurar que el suelo este húmedo.

7. Discusión

7.1 Realizar la caracterización de las propiedades físicas y químicas del suelo del área de estudio

7.1.1 Descripción del perfil del suelo

Calicata uno, ubicada en una pendiente alrededor del 15 %, con presencia de restos de cosechas anteriores de maíz en el momento de la descripción. Se caracterizan por presentar un horizonte en superficie (Ap) de clase textural arcillosa al tacto, estructura fuertemente evolucionada y coloración pardo amarillenta en seco y en húmedo pardo oscura siempre en el matiz 10 YR, según Baridon (2019) también se designa como Ap a cualquier horizonte superficial mineral con modificaciones antrópicas. Estructura fuertemente desarrollada en los horizontes cercanos a la superficie, la misma que va debilitándose con la profundidad. Al fondo de la calicata, se encuentra una secuencia de dos horizontes que presentan clases texturales franco arcillosas. Consistencia firme en gran parte del perfil.

Se observó desarrollo escaso de raíces (finas y muy finas) en el primer horizonte, que aumentan en cantidad (comunes) y tipo (comunes) a medida que profundiza en el perfil, al respecto Zambrano (2019) manifiesta que la presencia de raíces en el sector Consapamba pasan los 80 cm. También se encontró un contenido variable de rocas con alto grado de meteorización en los horizontes a mayor profundidad.

Calicata dos, con pendiente de 18 %, se caracterizan por presentar un horizonte en superficie de textura franco arenosas, estructura grado fuerte y coloración pardo oscuro, siempre en el matiz 10 YR. profundo.

Se observó raíces finas en el primer horizonte, que se mantienen a medida que profundiza en el perfil hasta los 70 cm de profundidad También se observó roca meteoriza en un alto grado.

7.1.2 Propiedades físicas del suelo

En las propiedades físicas del suelo hay parámetros de suma importancia tales como:

La densidad aparente del predio Consapamba oscilan desde 1,12 a 1,14 g cm⁻³, Dorronsoro (2016) expresa que la densidad aparente ideal para el crecimiento de raíces en suelos franco (Fo) debe ser menor a 1,4 g cm⁻³.

La textura corresponde a un suelo franco (Fo) según los análisis de laboratorio (Método de Bouyoucos) con un 42% arena, 40% limo y 18% arcilla, según Rueda (2021) los

suelos francos compuestos por arena, limo y arcilla en equilibrio o proporciones óptimas o cercanas, no son demasiados arcillosos, ni muy arenosos y con una gran productividad agrícola.

Para el cálculo de la velocidad de infiltración se aplicó el método del infiltrómetro o doble anillo y se utilizó la ecuación de Kostiakov dando una infiltración de $14,14 \text{ mm h}^{-1}$ la cual corresponde según Saavedra & Montenegro (2017) a una infiltración moderadamente lenta ya que entra en el rango de $5 \text{ a } 20 \text{ mm h}^{-1}$.

Las constantes hidrofísicas como la saturación o porosidad total se tiene un valor en pF 0 de $42,25 \%$, Pellegrini (2019) dice que suelos de textura franca presentan gran variabilidad de poros y son los que poseen mayor capacidad de retención de agua disponible a pesar de que su porosidad es intermedia. Por otra parte, la capacidad de campo (CC) dio un resultado de $35,95 \%$, esto concuerda con la investigación Traxco (2009), un suelo franco tiene una capacidad de campo de un 34% . Finalmente, el punto de marchitez permanente (PMP) presento un valor de $25,45 \%$, Valarezo et al. (1998) indica que los rangos del punto de marchitez permanente en suelos francos son (%) de $8,25 - 41,00$.

Con estos valores se graficó la curva de retención de humedad.

7.1.3 Propiedades químicas

El pH fue de $8,22$, suelos que están por encima del 7 son suelos alcalinos, Cremona & Enríquez (2020) manifiestan que un pH que oscila entre el rango de $7,9$ a $8,4$ se los considera como moderadamente alcalino, este valor de pH se puede deberse a la baja cantidad de lluvia anual en el área, ya que permiten que las sales minerales que contribuyen a la alcalinidad tienden a retenerse en el suelo, en ausencia de agua, esto según lo mencionado por Bonells, (2017).

En cuanto a la conductividad eléctrica (CE) Intagri (2017), indica que es la capacidad del suelo para conducir corriente eléctrica al aprovechar la propiedad de las sales en la conducción de esta, la zona presenta un resultado de $0,34 \text{ mS cm}^{-1}$ el cual es un suelo normal.

Otro parámetro es la capacidad de intercambio catiónico (CIC) que nos dio un valor de $68.4 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$, que se considera alta para el tipo de suelo del área de estudio, esto se debe principalmente a que en el lugar la materia orgánica (MO) tiene un valor de 2.67% considerada como media de acuerdo al análisis químico (Anexo 8).

De acuerdo con el análisis químico realizado para zona de estudio como observar en la tabla 8.

7.2 Diseñar un sistema de riego por aspersión considerando las condiciones de la zona de estudio.

7.2.1 Diseño agronómico

Necesidades hídricas del cultivo

En el área de estudio, la evapotranspiración del cultivo de referencia alcanza su valor máximo de 4,8 (mm día⁻¹) en octubre y su valor mínimo de 4,0 (mm día⁻¹) en marzo. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Jiménez (2019) en su trabajo sobre el sistema de riego por aspersión en la Finca San José, ubicada en el barrio Las Lajas de la Parroquia 27 de abril, del cantón Espíndola, provincia de Loja. En dicho estudio, se registraron valores mínimos y máximos en los mismos meses.

Los valores del coeficiente del cultivo (K_c) van de 0.30 en la primera etapa, en la etapa intermedia de 1,2 y en la etapa final de 0,60 estos resultados son similares a los de la investigación de Ureña (2017) y Guamán (2021) donde muestran que en la etapa media el K_c es elevado teniendo valores por encima del 1,1.

Según la metodología de la FAO (2006) la evapotranspiración del cultivo (ET_c) es el producto de los valores de ET_o y K_c ; el menor valor que se registra en requerimiento hídrico corresponde al mes de junio con 1,80 mm día⁻¹ y el valor máximo se registra en agosto con 4,86 mm día⁻¹ el cual sirve de base para diseñar el sistema de riego, según Cenicaña (2015) esta varía en función del clima, las características del cultivo, las prácticas de manejo y el medio de desarrollo, por lo tanto el conocimiento preciso de la ET_c es una herramienta fundamental que contribuye con una adecuada gestión de los recursos hídricos y con el mejoramiento de la productividad de los cultivos.

En cuanto al índice de humedad se obtiene el menor en el mes de septiembre con 0,1 y máxima en marzo con 1,1, Gallegos (2016), 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 esto se puede apreciar en la Tabla 11; finalmente en cuanto a los requerimientos hídricos del cultivo

7.2.2 Parámetros de riego

La lámina de agua aprovechable (LAA) es de 71,82 mm, según Legarda et al. (1999) la lámina de agua expresa lo que un suelo puede almacenar entre los límites de capacidad de campo y punto de marchitez permanente a la profundidad radicular del cultivo. La lámina de

agua rápidamente aprovechable (LARA), fue de 28,73 mm en un suelo Franco, el mismo que está cercano al obtenido por Jiménez (2019), que en un suelo franco arcilloso obtuvo 32,6 mm. En cuanto frecuencia de riego (Fr) se utiliza la evapotranspiración de cultivo máxima la cual es de 4,84 mm día⁻¹ con la cual dio una frecuencia de riego de 5,90 días, se fijó una frecuencia de riego ajustado acorde a la disponibilidad y manejabilidad del sistema de riego en 6 días.

Se selecciono un aspersor Naandajaian 5022 SD-U, que según el manual NaanDanJain (2018) manifiesta que este fue diseñado para lograr un rendimiento óptimo y uniforme a bajas presiones siendo ideal para el lugar de estudio ya que se cuenta con una presión de 19 m, el espesamiento elegido fue de 9 m entre hileras y 9 m entre aspersores siguiendo las recomendaciones del mismo manual, se obtiene una uniformidad de 88 al 92 % que al decir de Loaiza (2021) esta uniformidad es aceptable para sistemas de riego por aspersión.

El tiempo de riego, según Chow, (2006), debe ser suficiente para reponer el agua consumida por el cultivo. En este caso, el resultado obtenido fue de 7.29 horas, lo cual se encuentra dentro del rango de los turnos de riego establecidos por los usuarios del sistema de riego Consapamba. Por otro lado, se determinó que el número de aspersores por lateral es de 5 y la longitud de la lateral es de 40.5 metros, considerando la ubicación del primer aspersor. El caudal de la lateral es de 0.5625 litros por segundo, tomando en cuenta tanto el número de aspersores como el caudal.

7.2.3 Diseño hidráulico

Las pérdidas de fricción en las tuberías principal, secundaria, lateral y accesorios se determinaron utilizando valores de caudal, diámetro interno de las tuberías y el coeficiente de rozamiento. Según la tabla presentada por Reyes (2018), el coeficiente de rozamiento para plásticos es de 150.

La tubería principal tiene una longitud de 98,90 m y un diámetro de 75 mm, con una pérdida de 1,33 m. La tubería secundaria tiene una longitud de 63 m y un diámetro de 75 mm, con una pérdida de 0,35 m. En cuanto a la lateral, tiene una longitud de 45 m y un diámetro de 40 mm, con una pérdida de 0,05 m.

La velocidad del flujo en las tuberías se mantuvo en los rangos que según la investigación de Jiménez (2019) van desde 0,5 a 2,0 m/s. El lateral va en descenso: al inicio de la lateral la presión es de 15,92 m y al final es de 16,10 m. La presión con la que funciona el aspersor seleccionado es de 15 m.c.a. El cálculo de la diferencia de presiones desde el origen hasta el final de la lateral da como resultado 0,17 m. Este valor es menor a los 3 metros

correspondientes a la presión permitida (20% de la presión del aspersor), por lo que se cumple con la condición de diseño.

7.2.4 Calidad del agua

El uso de agua de baja calidad puede causar problemas al suelo y a las plantas, como salinidad, reducción de las tasas de infiltración y toxicidad para los cultivos (Moreno et al., 1996).

El agua del canal de riego Consapamba presenta un valor de dureza de 35,4 mgCaCO₃. L⁻¹, que según Mataró (2022) se la considera como 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 precipitados en los emisores, y no tendrá incidencia alguna en el suelo. La conductividad eléctrica (CE) tiene un valor de 0,03 mS cm⁻¹ este valor no presenta ningún grado de restricción en el uso del agua para riego. El valor de sólidos en suspensión es de 705 mg L⁻¹, el cual no representa ninguna restricción para el uso de riego ya que según Monge (2017) los valores pueden ir desde 0 a 2000 mg L⁻¹.

Por otra parte, el agua para riego tiene un pH de 7,19, el cual se acerca al neutro y no presenta restricciones para el riego.

7.3 Diseñar un plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el barrio Consapamba del cantón Espíndola

El plan de manejo va orientado al uso adecuado del suelo y buenas prácticas agrícola, ya que según Prado (2020), manifiesta que el campesino convive diariamente con la problemática del suelo, sabiendo que es el espacio que permite el crecimiento de los cultivos, un buen desarrollo radicular de las plantas, que debe tener los suficientes nutrientes y la correspondiente humedad, cantidad de aireación y que no debe contener sustancias tóxicas perjudiciales a la raíz.

Por otro lado en la parroquia de Amaluza según el PDOT Espíndola (2019), presenta relieve escarpado con pendientes en la parte este y oeste que van desde la más baja de 5% al 12%, y la más alta de 40 a más de 70%, donde los agricultores utilizan estos terrenos para la siembra, para Pozo (2000), esta práctica incrementa la pérdida de suelo y su fertilidad por la exposición a la escorrentía producido por la lluvia. Razón por la cual se debe implementar obras de conservación del suelo ya que estas pueden reducir drásticamente la escorrentía y erosión en los suelos de ladera.

Es importante dar un manejo adecuado al recurso suelo ya que nos brinda beneficios como mantener el entorno natural para los organismos que habitan la tierra aumenta la fertilidad y reduce la necesidad de fertilizar con productos químicos, esto ayudando a los agricultores a evitar la expansión a nuevas tierras cuando los territorios se vuelven poco fértiles. Por otra parte, la importancia de la conservación del suelo está relacionada con el suministro de agua, ya que la tierra funciona como un filtro natural para purificar el agua. La conservación del suelo mitiga la concentración de agentes contaminantes y sedimentos (Cherlinka, 2021).

8. Conclusiones

- El suelo tiene una textura franca, con propiedades físicas como D_a que están entre 1.12 a 1.14 g cm^{-3} y una VIB de $14,14 \text{ mm h}^{-1}$. en cuanto a propiedades químicas tiene un pH 8,22 considerado como alcalino, una C.E de 0.34 mS cm^{-1} , CIC de 68,40 y una MO 2.67 % las cuales no presentan problemas para el desarrollo del cultivo.
- Para satisfacer el requerimiento hídrico del cultivo de maíz en su etapa más crítica, se eligió un aspersor, marca NaanDanJain 5022 SD-U que trabaja con una presión de 1.5 bares; un caudal de $0405 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ y un diámetro húmedo de 19 m, para regar con una frecuencia de 6 días con un tiempo de riego de 7,29 h; suministrando una lámina de 36,45 mm. En el diseño hidráulico, las pérdidas de carga por fricción y las velocidades de agua en las tuberías, cumplen con los parámetros establecidos para el correcto funcionamiento del sistema.
- El plan de manejo sostenible del suelo para la producción del cultivo de maíz en el área de estudio, permitirá el mejoramiento de la practicas agrícolas enfocadas a la conservación de suelo y en el incremento de la producción y optimizando los recursos disponibles.

9. Recomendaciones

- Para obtener buenos resultados en el riego por aspersión, se recomienda tomar en cuenta y mantener los parámetros técnicos de diseño utilizados en el presente proyecto.
- Se recomienda la implementación del presente proyecto el riego por aspersión en el cultivo de maíz para satisfacer las demandas hídricas del cultivo en las etapas de desarrollo.
- Se recomienda realizar análisis de las propiedades químicas del suelo por lo menos cada dos años, con finalidad de establecer planes de fertilización adecuados de acuerdo a los cultivos.
- Se recomienda cultivar tomando en cuenta el plan de manejo sostenible del suelo que fue elaborado analizando las características topográficas, físicas, químicas y biológicas del suelo.

10. Bibliografía

Acuña, J. (2021). *Instalación de riego por aspersión en el sector calla provincia de Yungay*. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-santiago-antunez-de-mayolo/ingenieria-agricola/instalacion-de-riego-por-aspersion-en-el-sector-calla-provincia-de-yungay/16723249>

Arroyo, M. (2017, septiembre 11). *El Riego Inteligente en la agricultura* [Text]. iAgua; iAgua. <https://www.iagua.es/blogs/manuel-martin-arroyo/riego-inteligente-agricultura>

Assan, M., & Gorosito, S. (2019). *Relación agua planta (2)*. *Infiltración*. 19.

Banco Mundial. (2022). *El agua en la agricultura* [Text/HTML]. World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water-in-agriculture>

Baridon, E. (2019). *Morfología del suelo*. 29.

Bonells, J. (2017, agosto 22). Suelos acidos, alcalinos y salinos. *Jardines sin fronteras*. <https://jardinessinfronteras.com/2017/08/22/suelos-acidosalcalinos-y-salinos/>

Brown, L. (2013). La verdadera amenaza para nuestro futuro es que se acaba el agua. *Soberanía alimentaria, biodiversidad y culturas*, 14, 0010-0012.

Cadena, V. (2016). *Hablemos de Riego* (Segunda edición).

Calvache, M. (2010). *XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo*. 15.

Calvache, M. (2015, abril 18). Ingeniería Agrícola: Manejo del Agua de Riego en Laderas. *Ingeniería Agrícola*. <http://cristhian-diseohidraulico.blogspot.com/2015/04/manejo-del-agua-de-riego-en-laderas.html>

Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego*. 218.

Casas, R. (2012). *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Ediciones Paraninfo, S.A. https://books.google.es/books?id=h8_qVzIoJ00C

Cenicaña. (2015). *Evapotranspiración del cultivo*. <https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/>

Chanataxi, M. (2016). *Respuesta del cultivo de maíz dulce Bar. Bandit a la aplicación de niveles de calcio, boro y azufre bajo invernadero*.

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_Contenido

Cremona, M. V., & Enriquez, A. S. (2020). *Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento*.

Cuenca, L. (2021). *Diseño de un sistema de riego por aspersión en el sector chorrillos, parroquia Malacatos*. 135.

Demin, P. E. (2014). *Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego*.

Dorronsoro, C. (2016). *Edafología y zona. Lección 4. Dinámica agua en el suelo*.
<http://www.edafologia.net/introeda/tema04/otraspp.htm>

Eijkelkamp. (2020). *Equipo para determinación de la estabilidad de agregados—Equipos de laboratorio*. <https://sp.eijkelkamp.com/productos/equipos-de-laboratorio/estabilidad-de-los-agregados.html>

FAO. (2006a). *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*.

FAO. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*.

FAO. (2006b). *Propiedades Físicas | Portal de Suelos de la FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>

FAO. (2015). *Propiedades Químicas*. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>

Fernández, R. (2010). *Manual de riego para agricultores: Módulo 3. Riego por aspersión*.
[chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersion.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160240Riego_por_aspersion.pdf)

Fernández, R., Milla, M., & Ávila, R. (2010). *Manual de riego para agricultores modulo 2 riego por superficie*.

Fruticola. (2016, diciembre 1). *Calicatas, toma de muestras, y descripción de suelos*. *PortalFruticola.com*. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/12/01/calicatas-toma-de-muestras-y-descripcion-de-suelos/>

Gaete, L., & Espinosa, F. (Prof G. (2001). *Manual de diseño de sistemas de riego tecnificado* [Thesis, Universidad de Talca (Chile). Escuela de Ingeniería Mecánica]. <http://dspace.utalca.cl/handle/1950/2046>

Gallegos, C. (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.

González, J., & Playan, E. (2014). *Principios básicos del riego por superficie*.

González, M. (2011). *Ecuación de Van der Waals | La guía de Física*. La guía. <https://fisica.laguia2000.com/complementos-matematicos/ecuacion-de-van-der-waals>

Guamán, M. (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.

Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2021). *Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana*.

Intagri. (2017). *La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos | Intagri S.C.* <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos>

Intagri S.C. (2015). *El riego, la Importancia de su Programación y los Parámetros de Humedad en el Suelo*. <https://www.intagri.com/articulos/agua-riego/El-riego-la-importancia-de-su-programacion-y-los-parametros-de-humedad-en-el-suelo>

Jiménez, A. S., & Khalajabadi, S. S. (2005). *La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana*. 17.

Jimenez, R. (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.

Jiménez, S. (2017, mayo 18). *Diseño Agronómico e hidráulico de sistemas de riego presurizado*. <https://www.hidraulicafacil.com/2017/05/disenio-hidraulico-de-sistemas-de-riego.html>

Kijne, J. W. (2003). *Descubrir el potencial del agua para la agricultura*. Food & Agriculture Org.

Legarda, Lucio, Gerardo, P., & Homero, B. (1999). *Importancia de los parámetros hidrofísicos del suelo y requerimientos hídricos del cultivo en el diseño de un proyecto de riego por aspersión liviana*. 16, 107.

Loaiza, M. (2021). *Hablemos de Uniformidad de riego*. <https://es.linkedin.com/pulse/hablemos-de-uniformidad-riego-miguel-loaiza>

López, M., & Zamora, A. (2016). *Diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM*. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/270/1/TA54.pdf>

Macas, E. (2022). *Efecto de dosis de nitrógeno y micorrizas en el rendimiento y composición del grano de maíz blanco variedad INIAP-103 en condiciones del sector La Argelia de la ciudad de Loja*.

Márquez, K. (2016, diciembre 2). Conservación y Manejo Sostenible del recurso Suelo. *Kretheis Márquez Benítez*. <https://portafoliodigitalkretheismarquez.wordpress.com/ing-de-conservacion-de-suelos-y-aguas/conservacion-y-manejo-sostenible-del-recurso-suelo/>

Martínez, F., Gómez, L., & Aguilar. (2017). *Manejo sostenible de suelos en la agricultura cubana*. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/330321/229281>

Martínez, Y. (2017). *Determinar los requerimientos hídricos del pepino (Cucumis Sativus L) mediante el lisímetro volumétrico, en el sector la trinidad perteneciente al sistema de riego campana-malacatos*. Universidad nacional de Loja.

Mataro, A. (2022). *Dureza del agua | Aigues de Mataro*. <https://www.aiguesmataro.com/es/dureza-del-agua>

Monge, M. (2018). *Diseño agronomico e hidraulico de riegos agricolas a presion*. (Primera edición). <file:///C:/Users/User/Downloads/Dise%C3%B1o%20agron%C3%B3mico%20e%20hidr%C3%A1ulico%20de%20riegos%20agr%C3%ADcolas%20a%20presi%C3%B3n.pdf>

Monge, M. (2017, mayo 11). Calidad del agua de riego. *Universidad de Riego. Plataforma de transferencia de conocimientos e innovación en riego*. <https://www.universidadderiego.com/calidad-del-agua-de-riego/>

Moreno, J., Pérez, M. D., & Moral, R. (1996). *Análisis y calidad del agua de riego*. edUPV, Editorial Universitat Politècnica de València. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=166896>

- NaanDanJain. (2018). *Aspersores*.
- Paz, M. (2015). *Manual de capacitación: Riego por goteo*.
- PDOT Espíndola. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) del cantón Espíndola*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://espindola.gob.ec/sitioweb/documentos/pugs.pdf
- Pellegrini, A. (2019). *POROSIDAD Y AIREACION*. 9.
- Peralta, J., & Simpfendörfer, C. (2001). *Riego por aspersión*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/40180/NR26419.pdf?sequence=1#:~:text=Los%20aspersores%20ocupan%20los%20v%C3%A9rtices,sobre%20la%20distribuci%C3%B3n%20del%20agua.
- Pérez, A., Spínola, A. G., Bugarín, R., Hernández, T. M., Vázquez, A., & Rodríguez, A. (2017). *Capacidad de intercambio catiónico: Descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+n)* (Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas). 8(Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas), Article Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.
- Pérez, E. (2014). *Maíz I (Zea mays)*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://eprints.ucm.es/id/eprint/27974/1/MAIZ%20I.pdf
- Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Espíndola, C. (2020). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) Actualización 2020*. 2020, 404.
- Pozo, B. (2000). *Efecto del uso de obras de conservación de suelos sobre los rendimientos de sorgo y frijol y características del suelo en Namasigüe y El Ocotol, Honduras*. Zamorano.
- Prado, A. (2020). *Manejo ecológico del suelo y sustentable del agua*. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/21096/BVE22098496e.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Quijije, M. (2019). *Director Proyecto Investigación: [Universidad técnica estatal de Quevedo]*. https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3616/1/T-UTEQ-0049.pdf
- Reyes, A. (2018, agosto 21). *Sistemas Hidráulicos: Aplicación de la Fórmula de Hazen-Williams para Cuantificar las Pérdidas de Carga por Longitud en una Tubería que*

Trasiega Agua | Lección #2. Steemit. <https://steemit.com/steemstem/@reyito/sistemas-hidraulicos-aplicacion-de-la-formula-de-hazen-williams-para-cuantificar-las-perdidas-de-carga-por-longitud-en-una>

Robles, W. (2017). Universidad nacional de loja.

Rueda, D. (2021, enero 26). *Qué son los Suelos Francos*. encolombia.com. <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-francos/>

Rueda, J. (2016). *Tipos de diseño y mantenimiento de sistemas de riego para el uso y aprovechamiento del agua en cultivos agrícolas*. [Escuela superior politécnica del litoral]. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/98972/D-CD88491.pdf>

Saavedra, M. A. M., & Montenegro, C. (2017). *Guía metodológica para la identificación de daños hidromorfológicos en el suelo y mitigación de riesgos en laderas después de un fenómeno de incendio forestal*. 149.

Sanchez, A. R. (2013, diciembre 17). *La importancia del riego en la agricultura*. El Universo. <https://www.eluniverso.com/opinion/2013/12/17/nota/1928591/importancia-riego-agricultura>

Sánchez, B., Ruiz, M., & Ríos, M. M. (2005). *Materia orgánica y actividad biológica del suelo en relación con la altitud, en la cuenca del río Maracay, estado Aragua*. *Agronomía Tropical*, 55(4), Article 4.

Sandoval, C. (2009). *Balance hídrico para riego en la microcuenca del río Blanco*. <https://docplayer.es/124771987-Universidad-politecnica-salesiana-sede-quito.html>

Santos, L., De Juan, J., Picornell, M., & Jose, T. (2010). *EL RIEGO Y SUS TECNOLOGÍAS*.

Solórzano, E., Vega, M., Defaz, G., & Solórzano, M. (2015). *“Implementación de un sistema de riego por aspersión para uso agrícola, ubicado en la instalaciones de la Facultad de Ingeniería Agrícola en la parroquia Lodana del cantón Santa Ana”*. <https://docplayer.es/28625513-Universidad-tecnica-de-manabi.html>

Soto, S. & Desamparados. (2018). *Conductividad eléctrica del suelo*. <https://riunet.upv.es/handle/10251/105110>

Subsecretaría de Riego y Drenaje. (2019). *Plan nacional de riego y drenaje 2019—2027*. 160.

Tarjuelo, J. M. (1991). *El riego por aspersión*. Univ de Castilla La Mancha.

Toledo, M. (2016). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: Conceptos y métodos*. <https://repositorio.iica.int/handle/11324/3108>

Traxco. (2009, diciembre 10). *Humedad en suelos según texturas—Velocidad de infiltración*. <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura>

Ureña, G. (2017). *Determinación de las necesidades hídricas del cultivo de maíz (zea Mays), mediante el lisímetro volumétrico, en el sector el porvenir perteneciente al sistema de riego Campana-Malacatos*. Universidad nacional de Loja.

Valarezo, L. (2013). *Sistemas de riego por presión*.

Villacís, M. B. (2012). *Diseño de un sistema de aspersión*. 110.

Villafáfila, J., & Wyss, V. (2009). *Riego en horticultura | FAO*. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/292401/>

Zambrano, P. (2019). *Evaluación química y biológica de la fertilidad del suelo en los sistemas agroforestales con café de los sectores Consapamba y Pueblo Nuevo de los cantones Espíndola y Loja*. Universidad nacional de Loja.

Zúñiga, L. A. O. (2016). *Duración de las etapas fenológicas y profundidad*. 102.

11. Anexos

Anexo 1.

Descripción de calicatas.



Anexo 2.*Pruebas de infiltración.*

Número	Tiempo (min)	T. Acum (min)	Lami. Infiltr) (cm	lami. Inf. Acum (cm)	V. Inf. Insta (cm/min)
1	5	5	0,4	0,4	0,06
2	5	10	0,3	0,7	0,05
3	5	15	0,3	1,0	0,05
4	5	20	0,2	1,2	0,04
5	5	25	0,2	1,4	0,04
6	5	30	0,2	1,6	0,04
7	5	35	0,4	2,0	0,04
8	5	40	0	2,0	0,04
9	5	45	0,2	2,2	0,03
10	5	50	0,2	2,4	0,03
11	5	55	0,2	2,6	0,03
12	5	60	0,1	2,7	0,03
13	10	70	0,4	3,1	0,03
14	10	80	0,2	3,3	0,03
15	10	90	0,2	3,5	0,03
16	10	100	0,3	3,8	0,03
17	10	110	0,2	4,0	0,03
18	10	120	0,3	4,3	0,03
19	30	150	0,7	5,0	0,02
20	60	210	1,2	6,2	0,02
21	60	270	0,9	7,1	0,02

Anexo 3.

Levantamiento topográfico.



Anexo 4.

Datos meteorológicos estación Amaluza.

Estación:	AMALUZA	Latitud:	4G 35' 5" S	
Código:	M-150	Longitud:	79G 25' 50" W	
Institución:	INAMHI	Altitud:	1672	
Mes	Tempe media(°C)	Rs (mm/d)	ETo (mm/d)	ETo (mm/mes)
Enero	20.20	9.1	4.6	142.465
Febrero	20.20	9.0	4.5	126.752
Marzo	20.30	8.8	4.4	137.569
Abril	20.40	8.7	4.4	132.677
Mayo	20.00	8.0	4.0	125.021
Junio	21.00	7.8	4.0	120.093
Julio	21.00	7.8	4.0	125.076
Agosto	21.20	8.5	4.4	135.798
Septiembre	21.00	9.2	4.8	142.537
Octubre	20.70	9.4	4.8	148.942
Noviembre	20.60	9.3	4.8	142.912
Diciembre	20.40	9.1	4.6	142.817

Anexo 5.

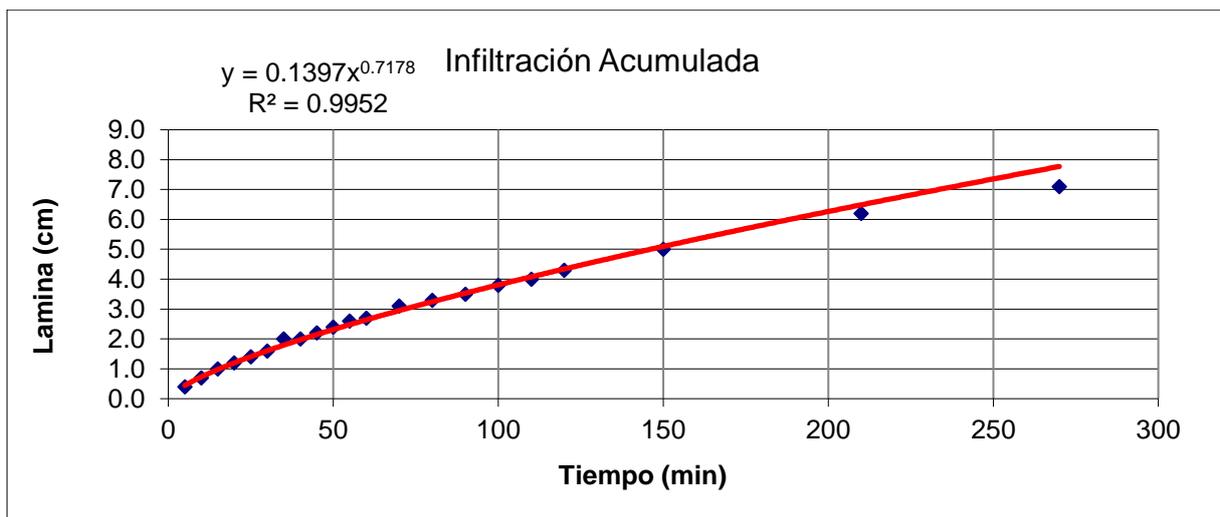
Fases fenológicas y kc del cultivo.

Fases de desarrollo	Duración (días)	Acumulado	Kc
Primera etapa	25	25	0.3
Segunda etapa	40	65	1.2
Tercera etapa	45	110	1.1
Cuarta etapa	30	140	0.6

Anexo 6.

Velocidad de infiltración en el predio.

$I_{cum} = A t^B$	Ecuación potencial negativa	
A =	0.1397	
B =	0.7178	
$I_{inst} = A B t^{(B-1)} = a t^b$	Ecuación potencial positiva	
a =	0.10027666	cm/min
b =	-0.2822	
Para I bas: $dl/dt = -0.1 I$; t en horas		
t bas = - 10 b =	2.822	
en min	169.32	
Inf bas =	0.023564509	cm/min
Inf bas =	1.413870521	cm/hor
Inf bas =	14.14	mm/hor



Anexo 7.

Ecuaciones utilizadas para el diseño agronómico.

Lámina de agua aprovechable (LAA).

Cultivo de maíz:

$$LAA = \frac{CC - PMP}{100} \times Da \times Prof$$

$$LAA = \frac{35.95 - 25.45}{100} \times 1.14 \text{ g/cm}^3 \times 600 \text{ mm}$$

$$LAA = 71.82 \text{ mm}$$

- ***Lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA).***

Cultivo de maíz:

$$LARA = LAA \times UR$$

$$LARA = 71.82 \text{ mm} \times 0.4$$

$$LARA = 28.73 \text{ mm}$$

- ***Frecuencia de riego (Fr).***

Cultivo de maíz:

$$Fr = \frac{LARA}{ETc \text{ Max}}$$

$$Fr = \frac{28.73 \text{ mm}}{4.86 \text{ mm/día}}$$

$$Fr = 6 \text{ días}$$

- ***Frecuencia de riego ajustado (Frj).***

Haciendo que el sistema de riego sea práctico, considerando la jornada de trabajo del agricultor, por lo que la frecuencia de riego ajustada es de 6 días.

- ***Lamina de riego rápidamente aprovechable ajustada (LARA_{ajust}).***

Se determinó a través de la siguiente ecuación:

$$LARA_{ajust} = ETc_{max} \times Frj$$

$$LARA_{ajust} = 4.86 \text{ mm/días} \times 6 \text{ días}$$

$$LARA_{ajust} = 29.16 \text{ mm}$$

- ***Lamina de riego (Lr).***

Para esto se utilizó una eficiencia de aplicación del 80 % según corresponde al riego con aspersión.

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

$$Lr = \frac{29.16 \text{ mm}}{0.80}$$

$$Lr = 36.45 \text{ mm}$$

- **Marco de riego.**

Se eligió una distribución en cuadrado de (9 x 9 m), el espaciamiento más estrecho que recomienda el fabricante en el catálogo con una uniformidad de distribución del 88 – 92 %, pues, en el predio existen velocidades de viento de 1,5 m s⁻¹, esta distribución nos permitirá tener mayor uniformidad y evitar problemas de pérdidas de agua por la acción del viento.

- **Intensidad de precipitación del aspersor (lp).**

Se la obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$lp = \frac{Q_{asp}}{Ea \times El} * 1000 ; \text{ condición } lp \leq \text{VIB}$$

$$lp = \frac{0.405 \text{ m}^3/\text{h}}{9 \times 9} * 1000$$

$$lp = 5 \text{ mm h}^{-1}$$

- **Tiempo de riego.**

El tiempo de riego determinado con la siguiente ecuación nos dio un valor de 7.29 h.

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

$$Tr = \frac{36.45 \text{ mm}}{5 \text{ mm h}}$$

$$Tr = 7.29 \text{ h}$$

- **Número de aspersores por lateral (NAL).**

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

$$NAL = \frac{45 \text{ m}}{9}$$

$$NAL = 5$$

- **Longitud de lateral (Ll).**

Tomando en cuenta la ubicación del primer aspersor de acuerdo a la disposición (Sa 2⁻¹), se realizó el cálculo y se obtuvo la longitud del lateral de 40.5 m.

$$Ll = Sa * (NAL - 0.5)$$

$$Ll = 9 * (5 \text{ m} - 0.5)$$

$$Ll = 40.5 \text{ m}$$

- **Caudal del lateral (QL).**

En base al caudal emitido por el aspersor seleccionado y el número de aspersores por lateral, se calculó un caudal de $0,56 \text{ L s}^{-1}$.

$$Ql = Qa * NAL$$

$$Ql = 0.405 * 5 \text{ m}$$

$$Ql = 2.025 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

$$Ql = 0.5625 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$$

- **Numero de laterales por área (NL).**

Se calculó el número de laterales mediante la siguiente fórmula, dándonos un valor de 7 laterales. Esto en función de la longitud del predio y dirección del secundario.

$$NL = \frac{63 \text{ m}}{9 \text{ m}}$$

$$NL = 7 \text{ Laterales}$$

- **Caudal de la línea secundaria (Qs).**

Se determinó de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$Qs = Ql * NL$$

$$Qs = 2025 \text{ L h}^{-1} * 7$$

$$Qs = 14175 \text{ L h}^{-1}$$

$$Qs = 3.94 \text{ L h}^{-1}$$

- **Numero de laterales funcionando simultáneamente.**

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

$$NLRS = \frac{194868 \text{ L h}^{-1}}{2025 \text{ L h}^{-1}}$$

$$NLRS = 96.23 \text{ laterales}$$

Anexo 8.
Selección del aspersor.

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 uniforme a 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 mantenimiento
- Materiales plásticos de alta resistencia 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	9x12	10x12	12x12
2.5x1.8 Violeta	1.5	0.440	18	5.4	4.9	4.4	4.1	3.7	3.1
	2.0	0.480	19	5.9	5.3	4.8	4.4	4.0	3.3
	2.5	0.535	21	6.6	5.9	5.4	5.0	4.5	3.7
	3.0	0.590	21	7.3	6.6	5.9	5.5	4.9	4.1
	3.5	0.635	21	7.8	7.1	6.4	5.9	5.3	4.4
	4.0	0.685	21	8.5	7.6	6.9	6.3	5.7	4.8
R.C.	30-50	0.590	21.0	7.3	6.6	5.9	5.5	4.9	4.1
2.8x1.8 Naranja	1.5	0.510	19	6.3	5.7	5.1	4.7	4.3	3.5
	2.0	0.560	20	6.9	6.2	5.6	5.2	4.7	3.9
	2.5	0.635	21	7.8	7.1	6.4	5.9	5.3	4.4
	3.0	0.690	22	8.5	7.7	6.9	6.4	5.8	4.8
	3.5	0.750	23	9.3	8.3	7.5	6.9	6.3	5.2
	4.0	0.800	22	9.9	8.9	8.0	7.4	6.7	5.6

Boquilla traserca: verde brillante - 1.8mm

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

* Tabla de rendimiento bajo condiciones de laboratorio

* En condiciones de viento, utilice un espaciamento más estrecho

5022 SD-U Tabla de Rendimiento, Boquilla única, 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	9x12	10x12	12x12
2.5 Violeta	1.5	0.310	19	3.8	3.4	3.1	2.9	2.6	2.2
	2.0	0.360	19	4.4	4.0	3.6	3.3	3.0	2.5
	2.5	0.400	20	4.9	4.4	4.0	3.7	3.3	2.8
	3.0	0.440	21	5.4	4.9	4.4	4.1	3.7	3.1
	3.5	0.475	21	5.9	5.3	4.8	4.4	4.0	3.3
	4.0	0.510	21	6.3	5.7	5.1	4.7	4.3	3.5
2.8 Naranja	1.5	0.405	19	5.0	4.5	4.1	3.8	3.4	2.8
	2.0	0.475	21	5.9	5.3	4.8	4.4	4.0	3.3
	2.5	0.530	22	6.5	5.9	5.3	4.9	4.4	3.7
	3.0	0.580	22	7.2	6.4	5.8	5.4	4.8	4.0
	3.5	0.625	22	7.7	6.9	6.3	5.8	5.2	4.3
	4.0	0.670	23	8.3	7.4	6.7	6.2	5.6	4.7

Para aspersores con una o dos boquillas, asegurarse de usar la unidad SD recomendada (aparece en la tabla de rendimiento adjunta).

Anexo 9.
Análisis de agua.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO MATRIZ PARA ENTREGA DE RESULTADOS						
Código de ingreso	LAQ – S006	Fecha de ingreso	01.08.2022	Tipo de muestra	Suelo	Número Total de muestras	1	
Lugar de procedencia de la muestra		Barrio Consapamba, cantón Espíndola			Tipo de muestreo	Se desconoce		
Nombre del usuario	Carlos David Sabedra Guarnizo				CI.	1150676342		
Programa/proyecto	Diseño de un sistema de riego por aspersión y plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo del maíz (<i>Zea mays</i>) en el barrio Consapamba, cantón Espíndola							
Técnico Responsable del Análisis	Ing. Yajaira Arévalo				Fecha de entrega	11.08.2022		

MUESTRA DE AGUA			
Nro.	ANÁLISIS	UNIDAD	Muestra 1
1	pH	-	7,19
2	Conductividad eléctrica	ms	0,03
3	Sustancias sólidas en suspensión	mg/l	705
4	Dureza	mg/l	35,4
5	Cloruros	mg/l	18
6	Carbonatos	mg/l	0
7	Fosfatos	mg/l	> 30
8	Nitratos	mg/l	< 1,2
9	Calcio	mg/l	> 160
10	Boro	mg/l	0,37
11	Sodio	mg/l	18
12	Magnesio	mg/l	11,1
13	Hierro	mg/l	0,08
14	Sulfato	mg/l	< 5

Anexo 10.

Análisis químico del suelo.

		UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN LABORATORIO DE ANÁLISIS QUÍMICO MATRIZ PARA ENTREGA DE RESULTADOS						
Código de ingreso	LAQ – S006	Fecha de ingreso	01.08.2022	Tipo de muestra	Suelo	Número Total de muestras	1	
Lugar de procedencia de la muestra		Barrio Consapamba, cantón Espíndola			Tipo de muestreo	Se desconoce		
Nombre del usuario	Carlos David Sabedra Guarnizo				CL	1150676342		
Programa/proyecto	Diseño de un sistema de riego por aspersión y plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo del maíz (<i>Zea mays</i>) en el barrio Consapamba, cantón Espíndola							
Técnico Responsable del Análisis	Ing. Yajaira Arévalo				Fecha de entrega	11.08.2022		

MUESTRA DE SUELO		
N°	ANÁLISIS	RESULTADOS
1	Conductividad Eléctrica (CE)	0.34 ms
2	pH	8.22
3	Capacidad de Intercambio catiónico (CIC)	68.4 meq/100g
4	Materia orgánica (MO)	2.67 %

Anexo 11.

Análisis químico del suelo.

	INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA" LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS Panamericana Sur Km. 1. S/N Cutuglagua. Teléfonos: (02) 3007284 / (02)2504240. Email: laboratorio.dsa@iniap.gob.ec	
---	--	---

REPORTE DE ANÁLISIS DE FÍSICA DE SUELOS INFORME DE ENSAYO No: 220-451

NOMBRE DEL CLIENTE:	Sabedra Guarnizo Carlos David	FECHA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	19/07/2022
PETICIONARIO:	Sabedra Guarnizo Carlos David	HORA DE RECEPCIÓN DE MUESTRA:	16:28
EMPRESA / INSTITUCIÓN:	Sabedra Guarnizo Carlos David	FECHA DE ANÁLISIS:	01/08/2022
DIRECCIÓN:	Av. Exodo de Yangana	FECHA DE EMISIÓN:	05/08/2022
E-MAIL:	carlos.sabedra@unL.edu.ec	ANÁLISIS SOLICITADO:	CC y PMP

No. Laboratorio	Identificación de la muestras	Humedad gravimétrica (%)		Da. (g/cc)	Hg. (%)	Hv. (%)	M. O. (%)	TEXTURA			
		C.C.	P.M.P.					Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase Textural
22-1618	Muestra 1 H1	38.0	26.7								
22-1619	Muestra 1 H2	33.9	24.2								

Simbología			
CC: Capacidad de Campo	Da: Densidad aparente	Hg: Humedad gravimétrica	A: Alto; M: Medio; B: Bajo
PMP: Punto de Marchitez Permanente	MO: Materia Orgánica	Hv: Humedad volumétrica	g/cc: gramos sobre centímetro cúbico

Metodología	
CC, PMP: Ollas de Richards.	MO: Combustión - TOC
Textura: Bouyoucos	

RESPONSABLES DEL INFORME



**IVAN RODRIGO
SAMANIEGO
NAIGUA**

**Dr. Iván Samaniego
RESPONSABLE DEL LABORATORIO**



**ANIBAL RAFAEL
PARRA BURGOS**

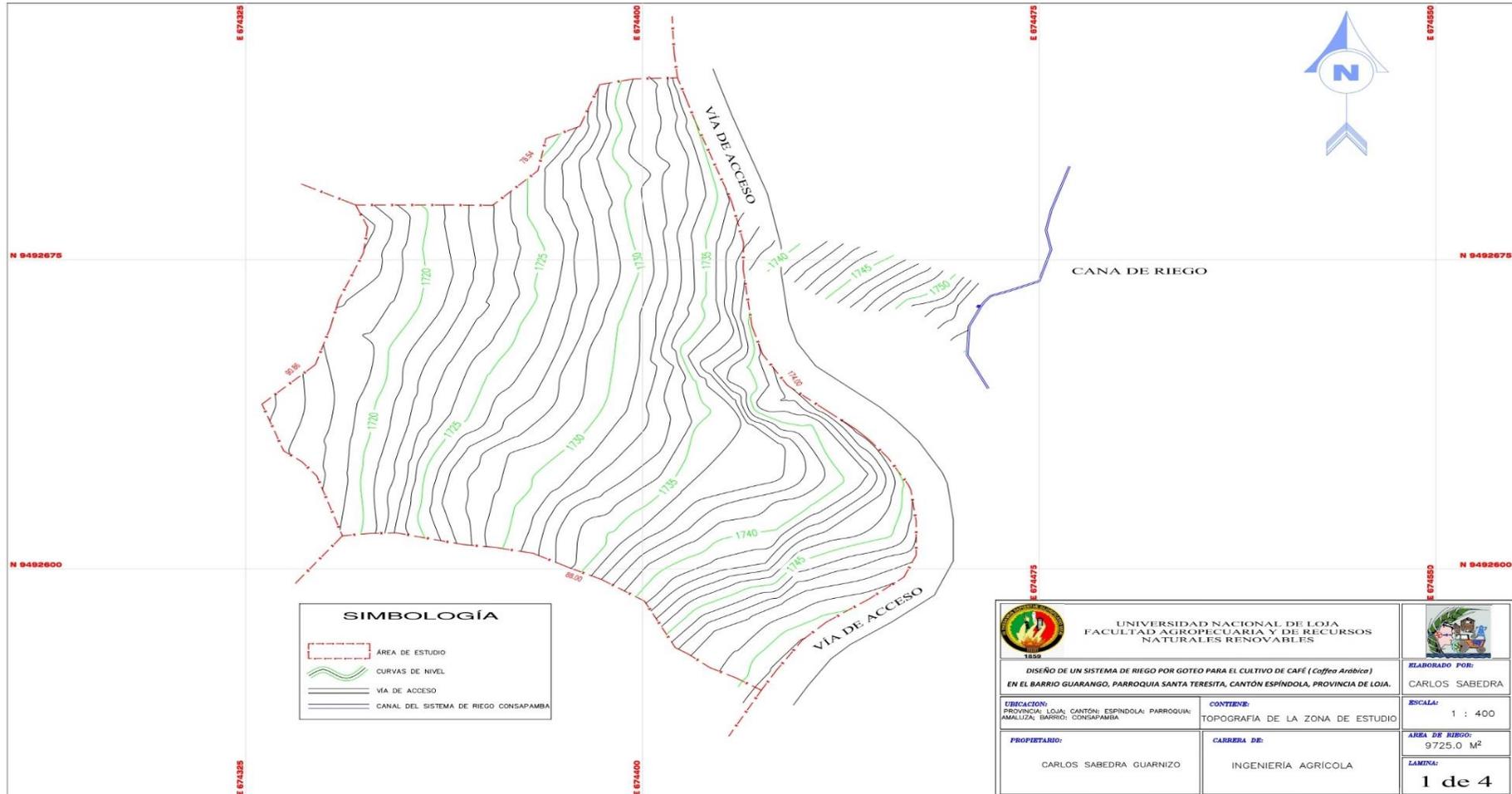
**Ing. Rafael Parra
LABORATORISTA**

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio

Los resultados arriba indicados solo están relacionados con el objeto de ensay

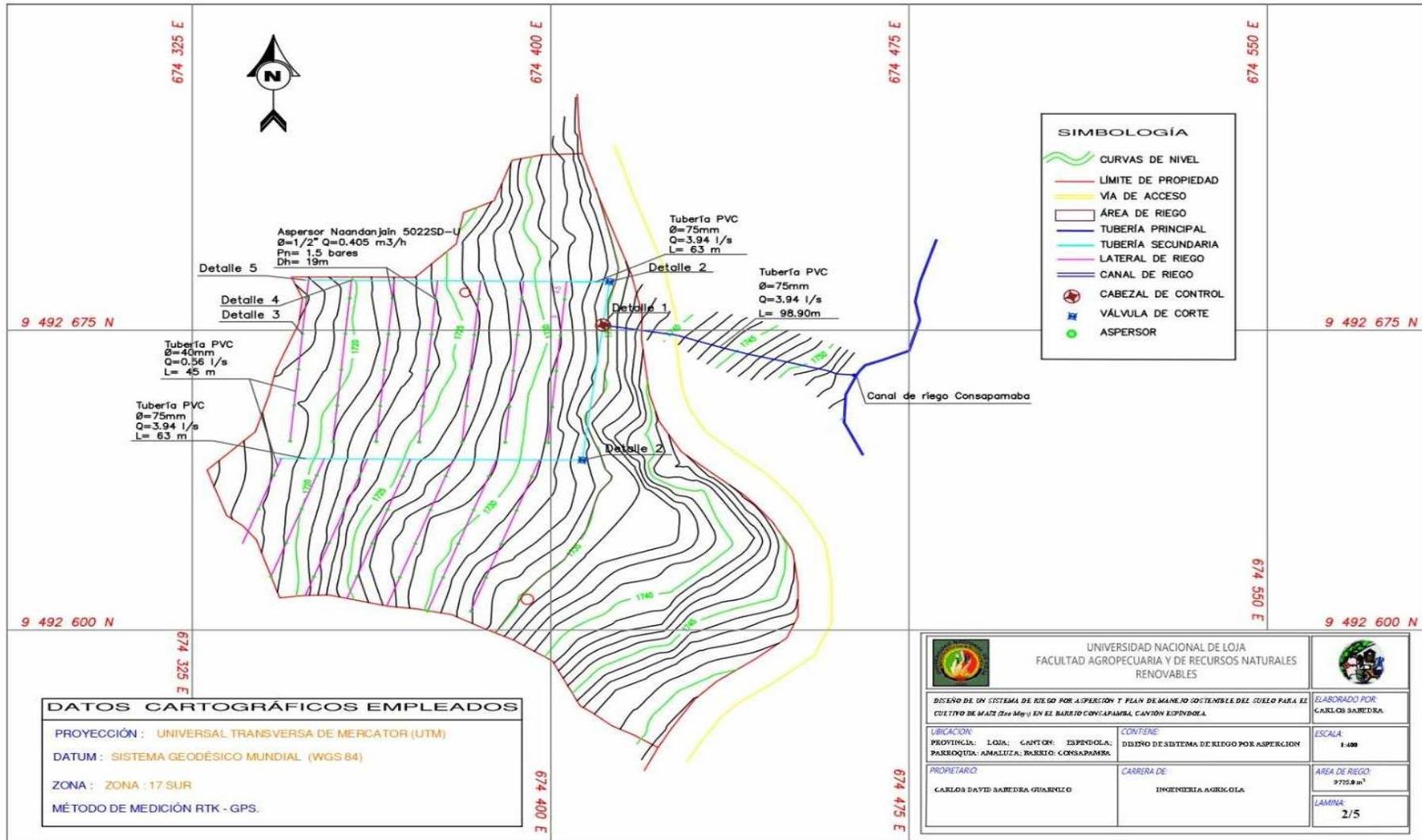
NOTA DE DESCARGO: La información contenida en este informe de ensayo es de carácter confidencial, está dirigido únicamente al destinatario de la misma y solo podrá ser usada por este. Si el lector de este correo electrónico o fax no es el destinatario del mismo, se le notifica que cualquier copia o distribución de este se encuentra totalmente prohibido. Si usted ha recibido este informe de ensayo por error, por favor notifique inmediatamente al remitente por este mismo medio y elimine la información.

Anexo 12.
 Topografía del área de estudio.

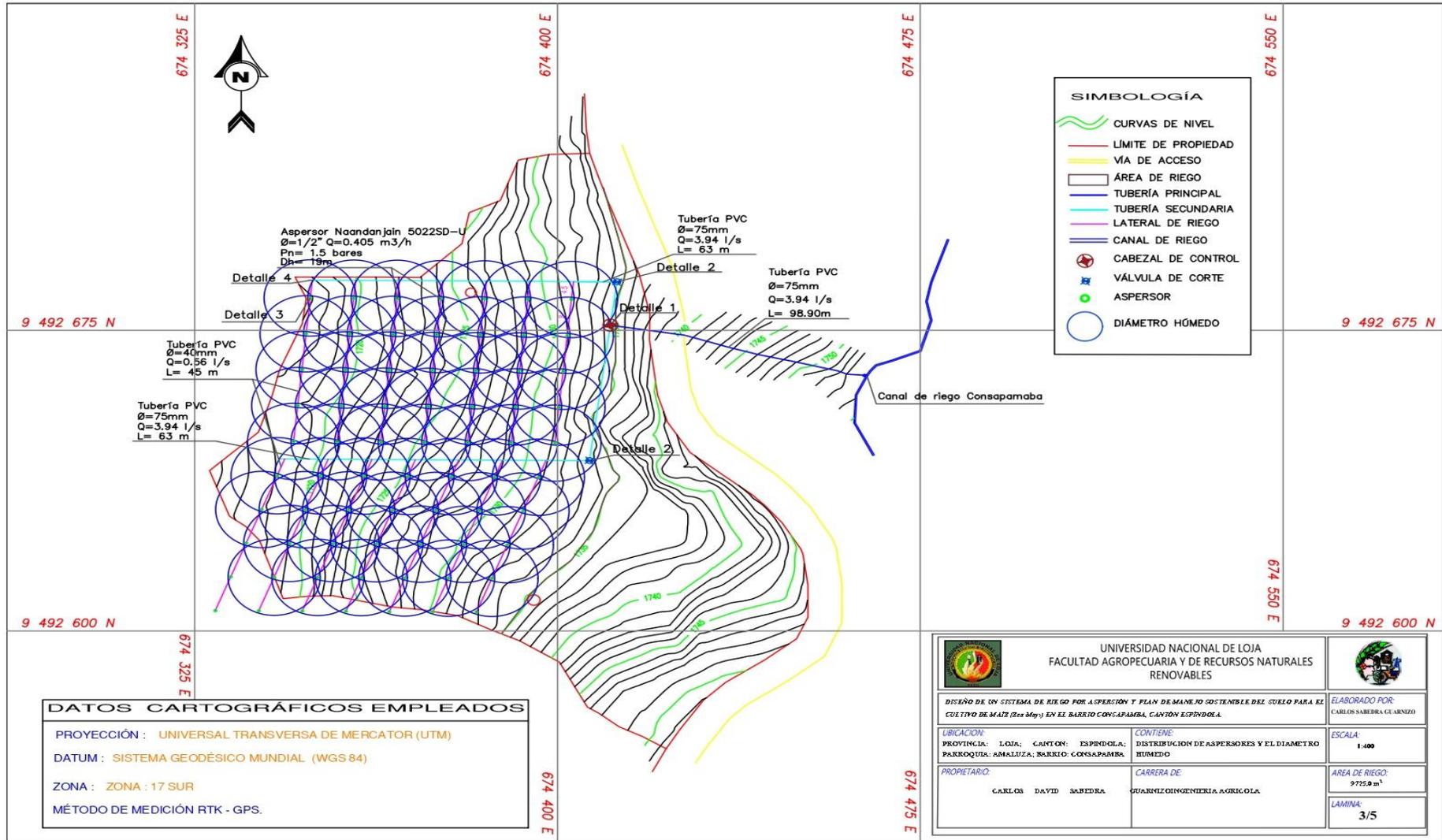


Anexo 13.

Tuberías principales, secundarias y terceras.



Anexo 14.
Diseño hidráulico.

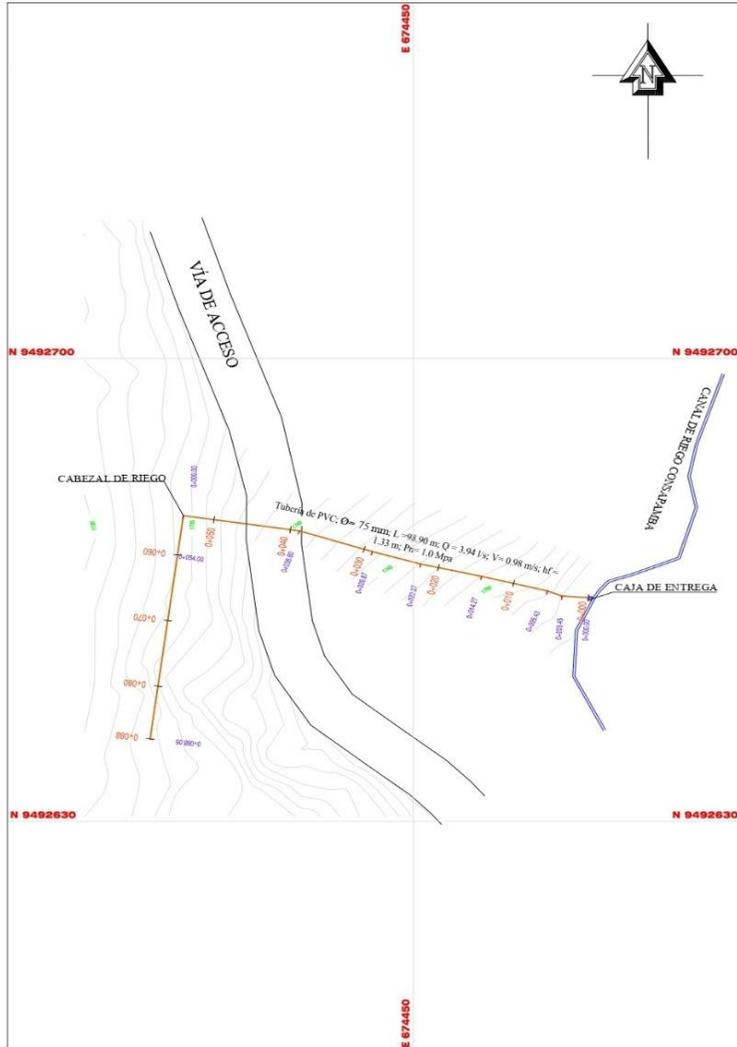


DATOS CARTOGRAFICOS EMPLEADOS	
PROYECCIÓN :	UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR (UTM)
DATUM :	SISTEMA GEODÉSICO MUNDIAL (WGS 84)
ZONA :	ZONA : 17 SUR
MÉTODO DE MEDICIÓN	RTK - GPS.

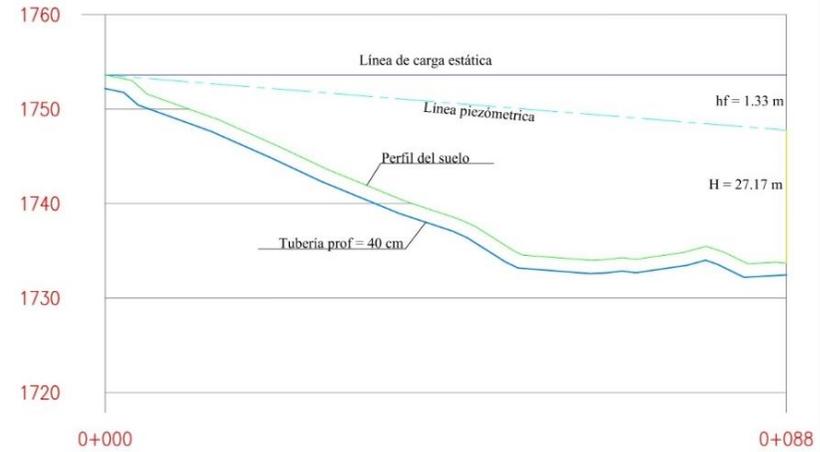
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES		
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN Y PLAN DE MANEJO SOSTENIBLE DEL SUELO PARA EL CULTIVO DE MAÍZ (2da. May.) EN EL BARRIO CONSAPAMABA, CANTÓN ESPINOLOA.		ELABORADO POR: CARLOS SABEDRA GUARNEZ
UBICACIÓN: PROVINCIA: LOJA; CANTÓN: ESPINOLOA; PARROQUIA: SAMA LUZA; BARRIO: CONSAPAMABA.	CONTENIDO: DISTRIBUCIÓN DE ASPERSORES Y EL DIÁMETRO HÚMEDO	ESCALA: 1:400
PROPIETARIO: CARLOS DAVID SABEDRA	CARRERA DE: INGENIERÍA AGRÍCOLA	ÁREA DE RIEGO: 9715.8 m ²
		LAMINA: 3/5

Anexo 16.

Perfil de conducción.



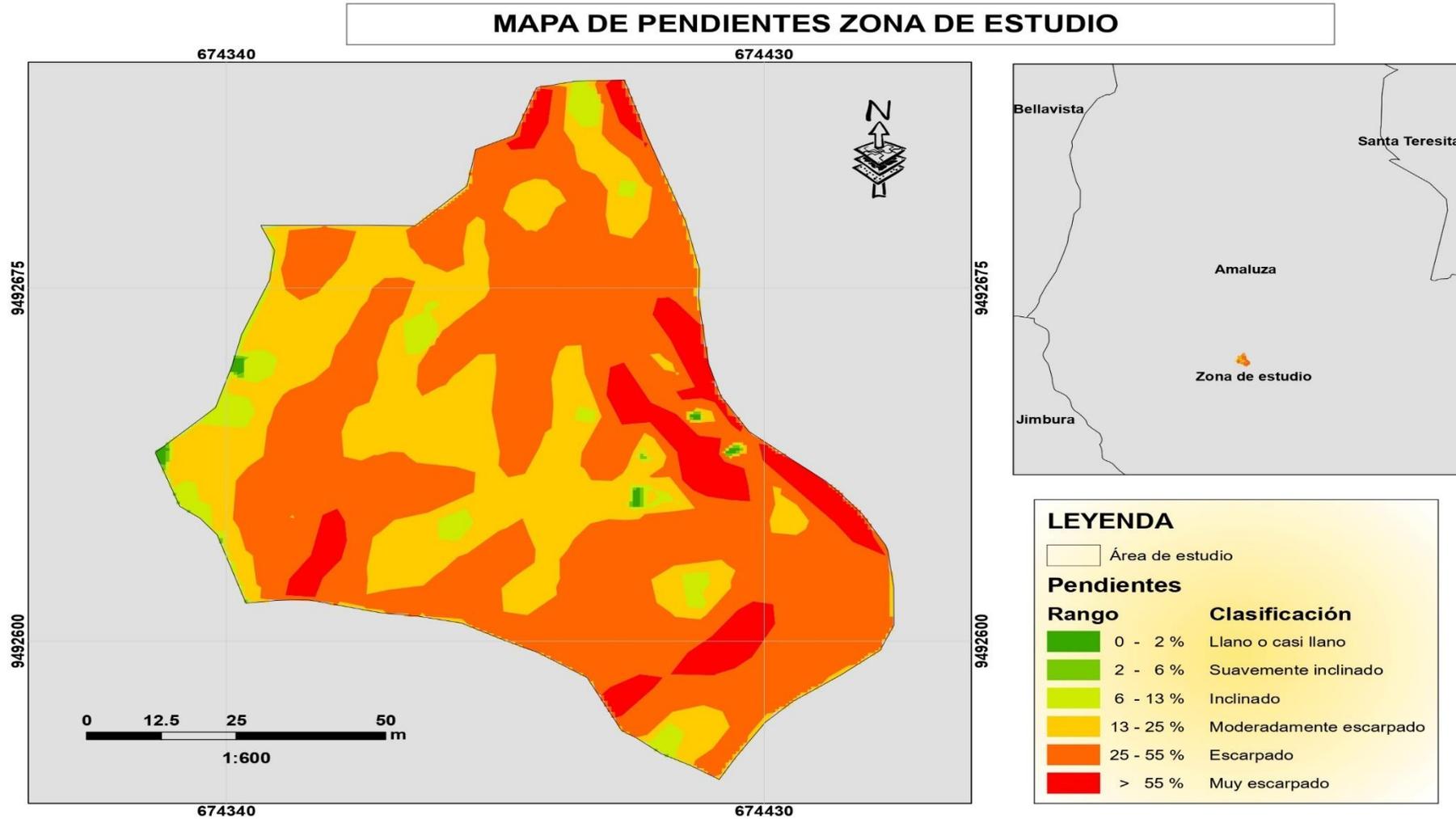
Perfil hidráulico de la línea de conducción



ABSCISA	0+000	0+010	0+020	0+030	0+040	0+050	0+060	0+070	0+080	0+088.90
COTA - TERRENO	1750.26	1746.94	1743.21	1739.92	1736.47	1734.17	1734.27	1734.84	1734.84	1734.84
DATOS HIDRÁULICOS	Tubería de PVC; Ø= 75 mm; L =98.90 m; Q = 3.94 l/s; V= 0.98 m/s; hf = 1.33 m; Pn= 1.0 Mpa									

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES		ELABORADO POR: CARLOS SABEDRA
DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO POR ASPERSIÓN Y PLAN DE MANEJO SOSTENIBLE DEL SUELO PARA EL CULTIVO DE MAIZ (con maiz) EN EL BARRIO CONSAPAMBA, CANTÓN ESPÍNDOLA		
UBICACIÓN: PROVINCIA: LOJA; CANTÓN: ESPÍNDOLA; PARROQUIA: AMALUZA; BARRIO: CONSAPAMBA	CONTENIDO: PERFIL Y LÍNEA DE CONDUCCIÓN	ESCALA: 1 : 900
PROPIETARIO: CARLOS SABEDRA GUARNIZO	CARRERA DE: INGENIERÍA AGRÍCOLA	ÁREA DE RIEGO: 9725.0 M ²
		LÁMINA: 1 de 4

Anexo 17.
 Mapa de pendientes.



Anexo 18.

Certificación de traducción Abstract

CERTIFICACIÓN

En calidad de traductor del resumen de la tesis titulada **Diseño de un sistema de riego por aspersión y plan de manejo sostenible del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays*) en el barrio Consapamba, cantón Espíndola**, de autoría del señor **Carlos David Sabedra Guarnizo** con número de cédula 1104901135 de la carrera de Ingeniería Agrícola en la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional de Loja, previa a la obtención del título de Ingeniero Agrícola.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad, autorizando al interesado hacer uso del presente en lo que estime conveniente.

Loja, 22 de octubre de 2023

Atentamente:



Lic. Sara Patricia Chanta Jiménez, Mgs

1105366841
