



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del suelo y elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa, en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo –Zañe, Parroquia Chuquiribamba.

Trabajo de Integración Curricular
previa a la obtención del título de
Ingeniera Agrícola

AUTORA:

Erika Thalía Suquilanda Ortega

DIRECTOR:

Ing. Miguel Ángel Villamagua Mg.Sc.

Loja – Ecuador

2024

Certificación



UNL

Universidad
Nacional
de Loja

Sistema de Información Académico
Administrativo y Financiero - SIAAF

CERTIFICADO DE CULMINACIÓN Y APROBACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Villamagua Miguel Angel, director del Trabajo de Integración Curricular denominado Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del suelo y elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa, en el sector la Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe, Parroquia Chuquiribamba, perteneciente al estudiante Erika Thalia Suquilanda Ortega, con cédula de identidad N° 1401066061.

Certifico:

Que luego de haber dirigido el Trabajo de Integración Curricular, habiendo realizado una revisión exhaustiva para prevenir y eliminar cualquier forma de plagio, garantizando la debida honestidad académica, se encuentra concluido, aprobado y está en condiciones para ser presentado ante las instancias correspondientes.

Es lo que puedo certificar en honor a la verdad, a fin de que, de así considerarlo pertinente, el/la señor/a docente de la asignatura de Integración Curricular, proceda al registro del mismo en el Sistema de Gestión Académico como parte de los requisitos de acreditación de la Unidad de Integración Curricular del mencionado estudiante.

Loja, 28 de Febrero de 2024



Firma digital electrónica por:
MIGUEL ANGEL
VILLAMAGUA

F)
DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN
CURRICULAR



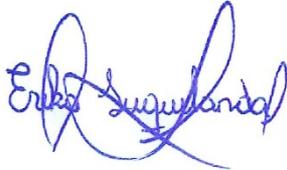
Certificado TIC/TT.: UNL-2024-000388

1/1
Educamos para Transformar

Autoría

Yo, **Erika Thalía Suquilanda Ortega**, declaro ser autora del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de integración curricular en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1401066061

Fecha: 29 de mayo del 2024

Correo electrónico: erika.suquilanda@unl.edu.ec

Teléfono o celular: 0967468030

Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Erika Thalía Suquilanda Ortega**, declaro ser autora del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del suelo y elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa, en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo –Zañe, Parroquia Chuquiribamba** como requisito para optar el título de **Ingeniera 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 de la siguiente manera 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.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RI, 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 Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veintinueve días del mes de mayo del año dos mil veinte y cuatro.

Firma:



Autor: Erika Thalía Suquilanda Ortega

Cédula: 1401066061

Dirección: Electricista bajo, Loja

Correo electrónico: erika.suquilanda@unl.edu.ec

Teléfono: 0967468030

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del trabajo de integración curricular: Ing. Miguel Ángel Villamagua Mg.Sc.

Dedicatoria

Agradezco infinitamente a mi buen Dios, que me ha guiado en el transcurso de mi vida a seguir adelante, darme salud y vida para enfrentar los obstáculos que se presentaron dentro de mi formación académica y permitirme culminar con éxito esta etapa.

Dedico mi trabajo especialmente a mi madre quien ha sido mi pilar fundamental, nunca dudo de mí y me apoyo incondicionalmente en las buenas y las malas a pesar de todas las dificultades que se presentaron en su camino que con su esfuerzo y trabajo lucho incansablemente para ver a su hija siendo una profesional.

Agradezco de todo corazón a mis hermanas y hermanos que han sido mi motivación para seguir adelante y llegar a la meta.

Como no agradecer a las personas cercanas y amigos, especialmente al Lic. Jhonny Romero y Verónica Cueva que me brindaron su ayuda desinteresada y motivaron en sus inicios para que este sueño se haga realidad.

A mi novio Luis Guamán por ser una ser una persona muy especial y motivarme cada día a seguir adelante y no decaer ante cualquier problema en mi vida.

A todos mis amigos y compañeros de aula con quienes compartí muchas experiencias en mi vida estudiantil.

Erika Thalía Suquilanda Ortega

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables y de manera muy especial a la carrera de Ingeniería Agrícola, por haberme formado académica y profesionalmente para el servicio a la comunidad.

Expreso un agradecimiento sincero todo el equipo de investigación del proyecto “Generación de bioconocimiento, enfocado a la conservación y uso sostenible de la agrobiodiversidad de variedades nativas de papa (*Solanum spp*) con la aplicación de láminas de riego, enmiendas orgánicas y biofertilizantes en la Sierra Sur del Ecuador” especialmente a la Ing. Miguel Villamagua Mg.Sc., director del presente trabajo por brindarme sus conocimientos y experiencias tanto académicas como personales, asesorándome constantemente en todo este proceso, logrando culminar con éxito el presente trabajo.

De igual manera agradezco la colaboración de la Ing. Fernanda Livisaca por apoyarme con sus conocimientos y predisposición para realizar cada una de las actividades propuestas en esta investigación.

Quiero agradecer al Ing. Rubén Soto por su apoyo incondicional y motivación en cada etapa de este trabajo.

Y finalmente a los usuarios del sistema de riego Aguarongo-Zañe sector La Dolorosa quienes con su buena voluntad y disponibilidad prestaron sus terrenos para la ejecución de este proyecto.

Erika Thalía Suquilanda Ortega

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	x
Índice de anexos	xi
1. Título	1
2. Resumen	2
Abstract	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico	6
4.1. El suelo	6
4.2. Propiedades físicas del suelo	6
4.2.1. Textura.....	7
4.2.2. Estructura del suelo.	8
4.2.3. Consistencia.....	8
4.2.4. Color.	9
4.2.5. Densidad Aparente.	9
4.2.6. Porosidad	10
4.3. Contenido de agua del suelo	10
4.4. Energía del agua en el suelo	11
4.4.1. Potencial del agua del suelo	11
4.5. La Curva de Retención del suelo.....	12
4.5.1. Factores que determinan la forma de la curva característica de humedad del suelo	13
4.5.2. Puntos importantes de la curva de retención de humedad del suelo	13
4.6. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.	14
4.7. Movimiento del agua en el Suelo	15
4.7.1. Infiltración del agua en el suelo.....	15
4.7.2. Interpretación de los valores de la infiltración básica	16

4.8. Propiedades químicas del Suelo	16
4.8.1. pH	16
4.8.2. Acidez Intercambiables	17
4.8.3. Saturación de Bases (SB)	17
4.8.4. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE)	17
4.8.5. Fertilidad del Suelo.....	18
4.8.6. Materia Orgánica	18
4.9. Nutrientes esenciales para el cultivo de papa	18
4.10. Fertilización de la papa.....	19
4.11. Relación de Cationes	20
4.12. Curva de Absorción del cultivo de la papa.....	21
4.13. Eficiencia de los fertilizantes.....	21
4.14. Enmiendas y suelos ácidos	21
4.15. Suelos ácidos en el Ecuador	22
5. Metodología.....	23
5.1. Descripción del área de estudio	23
5.2. Materiales	24
5.2.1. Método de la investigación.....	24
5.3. Metodología para el primer objetivo	24
5.4. Metodología para el segundo objetivo	26
6. Resultados	27
6.1. Caracterización física y químicamente los suelos del sector la Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zaño.	27
6.2. Plan de Fertilización para el cultivo de la papa nativa	34
7. Discusión.....	40
8. Conclusiones.....	45
9. Recomendaciones.....	46
10. Bibliografía.....	47
11. Anexos.....	57

Índice de tablas:

Tabla 1. Categorías de la infiltración básica	16
Tabla 2. Requerimientos de macro y micronutrientes en papa	20
Tabla 3. Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el cultivo de papa	20
Tabla 4. Retención de humedad en el rango de pF 0,0 a pF 4,20 de los dos primeros horizontes de los 8 perfiles, en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.	29
Tabla 5. Capacidad de aireación, agua aprovechable, volumen físicamente inerte y zona del diagrama triangular, de los dos primeros horizontes de los perfiles de la Dolorosa.	29
Tabla 6. Infiltración básica de los ocho perfiles, en el sector La Dolorosa del Sistema de Aguarongo –Zañe.....	33
Tabla 7. Condiciones Químicas del Sector la Dolorosa.....	33
Tabla 8. Fertilidad del Suelo del Sector la Dolorosa	34
Tabla 9. CICE del suelo de la unidad P2ZA	34
Tabla 10. Enmienda y Relación de Cationes para el suelo de la unidad P2ZA	35
Tabla 11. Fertilizantes recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2ZA	35
Tabla 12. Fertilizantes en las diferentes etapas fenológicas recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2ZA.....	35
Tabla 13. Plan de fraccionamiento de aplicación de los fertilizantes de la unidad P2ZA	36
Tabla 14. CICE del suelo de la unidad P2RC	36
Tabla 15. Enmienda y Relación de Cationes para el suelo de la unidad P2RC	37
Tabla 16. Fertilizantes recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2RC	37
Tabla 17. Fertilizantes en las diferentes etapas fenológicas recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2RC.....	37
Tabla 18. Plan de fraccionamiento de aplicación de los fertilizantes de la unidad P2RC	37
Tabla 19. CICE del suelo de la unidad P2EC	38
Tabla 20. Enmienda y Relación de Cationes para el suelo de la unidad P2EC	38
Tabla 21. Fertilizantes recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2EC	39
Tabla 22. Fertilizantes en las diferentes etapas fenológicas recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2EC	39
Tabla 23. Plan de fraccionamiento de aplicación de los fertilizantes de la unidad P2EC	39

Índice de figuras:

Figura 1. Triángulo de las clases texturales básicas según la clasificación USDA ,1975.	8
Figura 2. Ubicación del Sistema de riego Aguarongo - Zañe.....	23
Figura 3. Perfil 2 de la unidad de suelo P2ZA.....	28
Figura 4. Perfil 2 de la unidad de suelo P2RC.....	30
Figura 5. Perfil 2 de la unidad de suelo P2EC	32

Índice de anexos:

Anexo 1. Diagrama triangular para evaluación de las condiciones físicas del suelo.	57
Anexo 2. Levantamientos topográficos de la zona de estudio.....	57
Anexo 3. Descripción de los perfiles del suelo de la zona de estudio	59
Anexo 4. Análisis del material parental en la zona de estudio	59
Anexo 5. Mapa geológico de la zona de estudio	61
Anexo 6. Pruebas de infiltración	61
Anexo 7. Infiltración básica de los ocho perfiles, en el sector La Dolorosa del Sistema de Aguarongo –Zaño.....	62
Anexo 8. Mapa de pendientes de la zona de estudio	62
Anexo 9. Fichas de descripción de los perfiles de suelos del sector La Dolorosa	63
Anexo 10. Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo	83
Anexo 11. Difusión de Resultados	85
Anexo 12. Retención de humedad en el rango de pF 0,0 a pF 4,20 de los dos primeros horizontes de los 8 perfiles, en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zaño.	86
Anexo 13. Capacidad de aireación, agua aprovechable, volumen físicamente inerte y zona del diagrama triangular, de los dos primeros horizontes de los perfiles del sector la Dolorosa....	87
Anexo 14. Curvas de retención de humedad del primer horizonte de los ocho perfiles, en el sector La Dolorosa del Sistema Riego Aguarongo – Zaño.	88
Anexo 15. Curvas de retención de humedad del segundo horizonte de los ocho perfiles en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zaño.	88
Anexo 16. Certificado traducción del resumen	89

1. Título

Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del suelo y elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa, en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo –Zaño, Parroquia Chuquiribamba.

2. Resumen

El sector La Dolorosa es parte del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe se encuentra ubicado en la parroquia de Chuquiribamba al noroccidente del cantón Loja. La precipitación oscila entre los 800 a 1300 mm anuales y los suelos están desarrollados sobre rocas andesíticas. Entre los usos principales de suelo son: maíz con 32,64%, pasto 34,52%, cebolla verde 18,25%, hortalizas 6,70%, plantas aromáticas 5,01% y papa 2,88%. El cultivo de la papa presenta bajos rendimientos (15 t ha^{-1}) por la baja capacidad de aireación, baja capacidad de intercambio catiónico, suelos ácidos, bajos contenidos de N, P, K, B y Z; y, además, por aplicación de láminas excesivas de riego por los usuarios sin considerar cuanto y hasta cuando regar provocando la lixiviación de los nutrientes. El objetivo principal de la investigación fue contribuir al incremento del rendimiento de la papa nativa a través de la caracterización físico-química del suelo y plan de fertilización en el cultivo de papa nativa. Se tomaron muestras de las tres unidades de suelo del sector de estudio, se determinó la curva del pF, las características físicas, las condiciones químicas (pH, CIC, acidez intercambiable, materia orgánica) y fertilidad. Los resultados proporcionan una clara visión de la fertilidad física y química en diferentes horizontes y pendientes: en el primer horizonte en pendientes de 0-8% se encuentra en el rango de media a buena, de 8-25% de muy pobre a media y en la pendiente de 25-58% en el rango pobre a medio. En el segundo horizonte la fertilidad física en todos los perfiles va de pobre a media. Las características físicoquímicas del suelo del sector la Dolorosa son: Textura FoAc; Da que oscilan entre 0,89 a $1,23 \text{ g.cm}^{-3}$; pH de muy ácida a ácida, CIC baja, MO media, saturación de bases alta a muy alta, bajo en N y B, medio en Ca, S, Zn y alto en P, K, Mg, Cu, Fe y Mn. El plan de fertilización incluye la aplicación de Calpac Dolomix de 3360, 3279 y 1941 kg ha^{-1} , así como la aplicación de nutrientes en un rango de 134 a 153 kg ha^{-1} de N, 43 a 103 kg ha^{-1} de P, 221 a 307 kg ha^{-1} de K, 25 a 45 kg ha^{-1} de Ca, 50 a 94 kg ha^{-1} de Mg, 38 a 46 kg ha^{-1} de S y 1 kg ha^{-1} de B en las tres unidades de suelo.

Palabras claves: Análisis, físico, químico, papa nativa, curva de absorción, plan de fertilización.

Abstract

The Dolorosa sector, which belongs to the Aguarongo-Zañe irrigation system, is located in the parish of Chuquiribamba. Rain precipitation ranges between 800 to 1300 mm annually, and the soils are developed on andesitic rocks. Among the principal land usage are corn at 32.64%, grass at 34.52%, green onion at 18.25%, vegetables at 6.70%, aromatic plants at 5.01%, and potatoes at 2.88%. The potato crop presents low yields (15 t ha^{-1}) to the low aeration capacity, low cation exchange capacity, acidic soils, low contents of N, P, K, B and Zn; and furthermore, the application of excessive irrigation sheets by farmers, without considering how much and even when to irrigate, causes the leaching of nutrients. The main objective of the research was to contribute to increasing the yield of native potatoes through the physical-chemical characterization of the soil and fertilization plan. Three unit soil samples from the study sector were taken. Then, the pF curve, physical characteristics, chemical conditions (pH, CEC, exchangeable acidity, organic matter), and fertility were calculated. The results obtained demonstrate that the physical conditions in the first horizon in the slope range of 0-8% are in the range of medium to good, from 8-25% are in the range of very poor to medium, and the slope 25-58% between poor to medium range. In the second horizon, the physical conditions in all profiles range from poor to regular. The physicochemical characteristics of the soil in the La Dolorosa sector are FoAc texture; ranges between 0.89 to 1.23 g.cm^{-3} ; pH from very acidic to acidic, low CEC, medium MO, high to very high base saturation, low in N and B, medium in Ca, S, Zn and high in P, K, Mg, Cu, Fe, and Mn. The fertilization plan includes the application of Calpac Dolomix of 3360, 3279, and 1941 kg ha^{-1} , as well as the application of nutrients in a range of 134 to 153 ha^{-1} of N, 43 to 103 kg ha^{-1} of P, 221 to 307 kg ha^{-1} of K, 25 to 45 kg ha^{-1} of Ca, 50 to 94 kg ha^{-1} of Mg, 38 to 46 kg ha^{-1} of S and 1 kg ha^{-1} of B in the three-floor units.

Keywords: analysis, physical, chemical, native potato, absorption curve, fertilization plan.

3. Introducción

Los suelos agrícolas han sufrido grandes pérdidas de nutrientes por las continuas prácticas no adecuadas de manejo a las cuales se los ha venido sometiendo con la finalidad de incrementar el rendimiento de los cultivos, lo que ha provocado cambios en sus características físicas, químicas y biológicas a través del tiempo (Zhong *et al.*, 2023). Estos cambios propios del suelo aceleran su degradación provocando balances negativos en la reserva nutritiva para plantas y microorganismos (Ávila *et al.*, 2020), condicionando la capacidad productiva de los cultivos (Barrezueta, 2019).

A nivel mundial, la papa es el cuarto cultivo más consumido del mundo luego del maíz, trigo y arroz (FAOSTAT, 2021). Actualmente se cultiva en 17 millones de hectáreas con una producción que representa 370 millones de toneladas en el mundo (FAO, 2019). En Ecuador, la producción nacional en el año 2022 fue de 251 433 toneladas, con una superficie cosechada de 17 926 hectáreas y un rendimiento promedio de 14,03 t/ha (SIPA-MAG, 2022).

La papa se cultiva en la región sierra, siendo las provincias de Carchi, Cotopaxi y Tungurahua las provincias con mayor producción la cual representa el 70,33 % del total, siendo la provincia de Carchi con mayor participación (43,5%) de la producción y un rendimiento de 24,48 t ha⁻¹ (INEC, 2022). En la provincia de Loja la producción en el año 2022 fue de 1 589 t y una superficie cosechada de 537 ha (SIPA-MAG, 2022)

El Sistema de Riego Aguarongo - Zañe perteneciente a la parroquia Chuquiribamba los cultivos más representativos son: pastos con un 34,52 % (27,74 ha); maíz con 32,64 % (26,23 ha); una gran parte de hortalizas y verduras 18,25 % (14,67 ha) entre las cuales la papa representa 2,88% (2,31 ha) del uso de suelo para la producción agrícola con un rendimiento de 15 t (Pauta, 2019).

La papa es un cultivo que se destina principalmente al autoconsumo (51,8 %) y un 48,2 % a la comercialización, misma que lo realizan en mercados y ferias libres (Gobierno Provincial de Loja, 2018).

La papa nativa un cultivo de suma importancia en la dieta alimentaria; y, los productores dependen de este cultivo para generar ingresos; sin embargo, las bajas producciones que se presentan están relacionadas por la inadecuada aplicación de láminas de riego, la deficiencia de los requerimientos nutricionales para el cultivo y la acidez presente en el suelo del Sistema de Riego, lo que conllevan a la deserción de la agricultura por otras actividades (Chamba, 2021).

Los suelos de la Dolorosa se caracterizan por presentar una acidez intercambiable de 2,4 meq/100 g, pH de 4,06 (muy ácido), con bajos niveles de N, P, K, B y Zn (Valarezo *et al.*, 2008); valores que coinciden con Chamba (2021), en su investigación, señalándolos como ligeramente ácidos con un pH de 5,81 y de bajo contenido de nutrientes. A esto se asocia la aplicación de láminas de riego excesivas sobre todo en áreas con pendiente sobre el 35%, lixiviación de bases y nutrientes, inestabilidad total de las áreas de riego, deslizamientos, formación de enormes cárcavas, sumado al sobrepastoreo, que ha provocado la acidificación, degradación de la estructura y disminución de la macroporosidad del suelo atribuible (Valarezo, 2017).

Considerando la falta de estudios relacionados con la evaluación de propiedades físicas y químicas del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe, que garanticen la dotación del requerimiento hídrico de los cultivos, una aplicación óptima de la lámina de agua, aplicación de enmiendas para la corrección de la acidez y un adecuado plan de fertilización según las condiciones del lugar, se plantea la evaluación de dichas propiedades con la finalidad de mejorar la producción agrícola con enfoques de sostenibilidad de la seguridad alimentaria y comercial para el cultivo de la papa nativa.

Por lo expuesto anteriormente se plantearon las siguientes preguntas de investigación:

¿Cuáles son las propiedades físicas y químicas del suelo para el cultivo de papa nativa en el sector la Dolorosa parroquia Chuquiribamba? Para dar respuesta a esta problemática se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

- Contribuir al incremento del rendimiento de la papa nativa a través de la caracterización y plan de fertilización del sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.

Objetivos específicos

- Caracterizar física y químicamente los suelos del sector la Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.
- Elaborar un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa en la Sector la Dolorosa.

4. Marco Teórico

4.1. El suelo

“Es la capa superior de la Tierra que se distingue de la roca sólida , considerado como un sistema disperso constituido por tres fases: sólida, líquida y gaseosa, que constituye el soporte mecánico y, en parte, el sustento de las plantas” (Navarro y Navarro, 2003); Jáuregui *et al.* (2018) considera, “el suelo como un cuerpo natural diferenciado en horizontes compuestos de material orgánico y mineral, que varía de modo continuo en el espacio y en el tiempo” (p.2).

Los suelos se forman debido a la descomposición de las rocas a lo largo de los siglos, por la acción del tiempo, del viento, del calor, del frío, de la sequía, de la lluvia y del hombre. Estas partículas se van mezclando con los residuos de los animales y vegetales en un proceso muy lento que da como resultado una disposición de horizontes diferenciadas (FAO, 2013). Un suelo ideal contiene cuatro componentes: material mineral (45%), materia orgánica (5%), aire (25%) y agua (25%) (Acosta, 2007, p.1).

FAO (2013) expresa que la fase sólida comprende material mineral y materia orgánica que pueden ser: residuos de plantas, animales y minerales que proceden de la desintegración y descomposición de las rocas. La fase líquida del suelo está constituida por el agua retenida en los poros con distinta intensidad, la fase gaseosa conocida como aire del suelo cumple una función importante en la absorción del agua y nutrientes por la planta (Navarro y Navarro, 2003).

Los suelos se distinguen por sus características físicas, químicas y biológicas, cada una cumple una función específica en el desarrollo de las plantas.

4.2. Propiedades físicas del suelo

Rucks *et al.* (2004) indican, la condición física del suelo como: textura, estructura, consistencia, color, densidad real y aparente determinan la facilidad para la penetración de las raíces, aireación, capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, plasticidad, y retención de nutrientes, que influyen en el crecimiento de las plantas” (p.2).

A continuación, se describen las propiedades físicas más importantes del suelo:

4.2.1. *Textura*

Es la proporción (en porcentaje de peso) de las partículas menores a 2 mm de diámetro (arena, arcilla y limo) presentes en los perfiles del suelo una vez destruidos los agregados (Gisbert *et al.*, 2010).

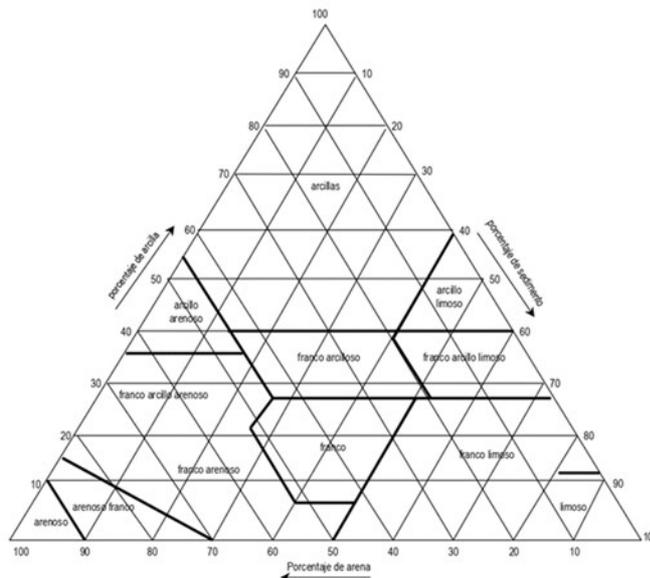
Las clases texturales están definidas por la distribución relativa de los tres grupos mayores de tamaños de las partículas: arena (0,05-2,00 mm), limo (0,002-0,05 mm) y arcilla (<0,002 mm) presentes en una muestra de suelo una vez pasado a través del tamiz 2mm según la clasificación del sistema del departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Alvear *et al.*, 1999, p.80).

La textura del suelo está relacionada con la aireación, transporte del agua, retención de humedad, retención y liberación de iones, disponibilidad de nutrientes y en su consecuencia en su productividad, erodabilidad, uso y manejo (Jaramillo, 2002, p.166).

Los suelos de textura arcillosa tienden a retardar el movimiento del agua y aire disponiendo de una alta capacidad de retención de agua, baja velocidad de infiltración y contienen buenas reservas de nutrientes lo que habitualmente les hace más fértiles, pero más difíciles al laboreo. Sin embargo, los suelos de textura arenosa o fracciones gruesa tienen una escasa capacidad de retener el agua debido al espaciamiento de sus partículas facilitando así el drenaje y el eficaz movimiento del aire y no ofrecen resistencia al laboreo (Rucks *et al.*, 2004, p.3-4).

Para la determinación de las clases texturales de un suelo, los resultados se interpretan a través del Triángulo de Textura como se observa en la figura 1.

Figura 1. Triángulo de las clases texturales básicas según la clasificación USDA ,1975.



4.2.2. Estructura del suelo.

Se define como el arreglo geométrico y topológico de los poros del suelo que se forman entre los agregados, y su estabilidad en tiempo y espacio. Se considera como uno de los principales atributos de la calidad del suelo con mayor importancia agrícola que determinan el nivel de compactación (Osuna *et al.*, 2006, p.27).

Según Carrasco y Riquelme (2010, p.60), la condición ideal de la estructura del suelo es importante para el crecimiento y desarrollo del cultivo debido a que permite una buena aireación necesaria para el desarrollo de las raíces, facilita el movimiento y almacenamiento del agua, aire, nutrimentos y sustancias húmicas en los espacios porosos, incrementando el rendimiento agrícola.

En la estructura se considera tres aspectos: **forma**, se refiere al tipo de estructura, que puede ser laminar, prismática columna, de bloque, subangular o granular; **tamaño**: muy fino, fino, medio, grueso, o muy grueso; y **grado o nitidez**, que considera la dificultad de observar a simple vista la formación de la estructura como unidad.

4.2.3. Consistencia.

Es la resistencia del suelo a ser deformado por las fuerzas, actuando fuerzas físicas de cohesión y adhesión, las cuales dependen del contenido de humedad del material, motivo por el cual se expresa en términos seco, húmedo y mojada. La consistencia varía con la textura,

materia orgánica, cantidad y naturaleza del material coloidal (Navarro y Navarro, 2013, p. 67-68).

La consistencia del suelo es una propiedad física ligada al estado de humedad y que en gran parte nos puede indicar la degradación o aumento del riesgo de erosión de un suelo, pues a una menor consistencia mayor facilidad de rotura de los agregados, con el consecuente desmenuzamiento del perfil del suelo (Gisbert *et al.*, 2010).

Esta propiedad es fundamental para manejar los suelos, ya que determina el comportamiento de estos en las labores agrícolas, la capacidad de soportar el peso de la maquinaria sin compactarse, o la facilidad de crecimiento de las raíces de las plantas (Bautista, 2022).

4.2.4. Color.

El color del suelo es una de las características morfológicas fácil de determinar que permite identificar y separar los horizontes visualizando las distintas clases de suelos. El contenido de materia orgánica, las condiciones de drenaje y aireación y el tipo de material son propiedades del suelo relacionadas con el color del suelo (Alvear *et al.*, 1999, p.82).

Según Moreno, Gilbert, y Ibáñez (2010, p. 5), la forma más común utilizada en el laboratorio y el campo es mediante el uso de tablas de Munsell, que presentan una gama de colores expresados en función de 3 parámetros diferentes:

Matiz: Representa al color espectral puro correspondiente a una determinada longitud de onda. Considera 5 colores principales (R, P, B, G, Y) y cinco complementarios o intermedios (RP, PB, BG, GY, YR) que se representan por las iniciales de su nombre en inglés, excepto el naranja que se representa por YR (yellow-red), para evitar confusiones.

Intensidad o Brillo: Manifiesta que la intensidad se define el grado de oscuridad del color. Es una medida de la cantidad de luz que llega al ojo, bajo condiciones estándar de iluminación

Croma o pureza: Indica la pureza relativa del color, debida a la presencia de colores grises; los valores que puede tomar este atributo van desde cero (0) para el gris neutro, hasta 20 para aquella situación de ausencia de gris. Sin embargo, para los suelos, este rango se restringe a valores comprendidos entre 0 y 8 (SSDS, 1993 como se citó en Jaramillo, 2002).

4.2.5. Densidad Aparente.

Según Vásquez *et al* (2017), “la densidad aparente expresa la relación entre el peso del suelo seco y su volumen total de una muestra de suelo no disturbada” (p.17). Esta se encuentra

en un rango entre 1 g/cc (suelos bien estructurados) y 1,8 g/cc (suelos compactados) (López, 2007). Se expresa con la siguiente ecuación:

$$D_a = M_s / V_t$$

D_r = Densidad aparente (g/cm³).

M_s = Masa de sólidos (g).

V_t = Volumen total (cm³).

La densidad aparente es afectada por la estructura, así como por los fenómenos de expansión y contracción del suelo. Los valores disminuyen al incrementarse el espacio poroso. Suelos con alto valor de densidad aparente reflejan poca porosidad, textura gruesa, posibles problemas de compactación y de aireación (Cadena, 2016, p.25).

4.2.6. Porosidad

Se define como el porcentaje de volumen de poros en un suelo, el inverso del porcentaje de volumen de sólidos. La porosidad está influenciada principalmente por la agregación del suelo, la textura del suelo, la penetración de las raíces y otras actividades biológicas. Por lo general los suelos de textura gruesas tienden a ser menos porosos que los suelos de textura fina, si bien el tamaño promedio de los poros individuales suele ser mayor en los suelos gruesos, los poros más pequeños en los suelos arcillosos son más numerosos (Easton y Bock, 2016, p.3).

Dentro del espacio poroso se pueden diferenciar dos tipos: macroporos y microporos. Los primeros no conservan el agua contra la fuerza de la gravedad, y motivo por el cual, son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, constituyendo el principal espacio en el que se desarrollan las raíces. Los segundos son los que retienen agua, parte de la cual es disponible para las plantas. La porosidad total es la suma de macroporos y microporos (Rucks *et al.*, 2004, p.10).

Según Jordán (2010), la porosidad del suelo puede calcularse, a partir de la densidad real y la densidad aparente del suelo, de la siguiente forma:

$$P = 100 [1 - (D_a / D_r)]$$

4.3. Contenido de agua del suelo

El contenido de agua del suelo o humedad del suelo es la cantidad de agua que se encuentra en el suelo que intervienen en el crecimiento de las plantas, la temperatura del suelo, el transporte de productos químicos y la recarga de aguas subterráneas (Datta *et al.*, 2017, p.2). El

contenido de agua del suelo puede ser expresado en términos gravimétricos (w) o volumétricos (ϕ). (Silva *et al.*, 2015, p. 4).

El agua en el suelo se puede encontrar en tres categorías: agua gravitatoria que desciende libremente hasta el nivel freático; agua capilar contenida en los poros capilares que es retenida por fuerzas superficiales de cohesión y adhesión sobre las partículas del suelo; y agua higroscópica que se encuentra firmemente en la superficie de las partículas coloidales del suelo (Valipour, 2014).

La cantidad que se encuentra en el suelo está determinada, principalmente, por su textura, su contenido de materia orgánica, la composición de sus fracciones mineral y orgánica y el arreglo que presente el medio físico edáfico, por el aporte de lluvia o riego en el suelo, así como por el consumo causado por la evapotranspiración (Jaramillo, 2002).

4.4. Energía del agua en el suelo

Según Lanfranco *et al.* (2014), la energía asociada al agua del suelo es una medida de las fuerzas a las que está sometida y tiene influencia sobre disponibilidad de agua para las plantas, movimiento del agua en el suelo, propiedades mecánicas del suelo.

De las dos principales formas de energía del agua, cinética y potencial, la primera puede considerarse insignificante en el caso del agua del suelo, debido a la pequeña dimensión de los poros, lo que hace que la velocidad de circulación sea extremadamente lenta (Rivera *et al.*, 2004).

4.4.1. Potencial del agua del suelo

El potencial del agua en el suelo expresa el grado de retención del agua por el suelo, su magnitud es siempre negativa indicando succión; y está determinada, en gran parte, por las fuerzas que enlazan al agua con los elementos de la fase sólida del suelo (Vásquez *et al.*, 2017, p.96).

Las diferencias en la energía potencial del agua de un punto del suelo a otro son responsables de la tendencia del agua a fluir dentro del suelo. El agua siempre se transporta de mayor a menor potencial (estado energético) y no necesariamente de mayor a menor contenido de agua (Easton y Bock, 2016, p.4)

Los componentes del potencial total del agua del suelo son:

$$\Psi_t = \psi_g + \psi_p + \psi_m + \psi_s$$

De donde:

Ψ_T = Potencial hídrico total

ψ_g = Potencial gravitacional

ψ_p = Potencial de presión

ψ_m = Potencial mátrico

ψ_s = Potencial osmótico.

Potencial gravitacional (ψ_g). Es el trabajo que se realiza que tiene al movilizar una cantidad infinitesimal de agua respecto a un nivel de referencia. Este potencial dependerá de un nivel de referencia, pudiendo ser positivo o negativo, si es que esta sobre o bajo el nivel de referencia (Silva *et al.*, 2015).

Potencial de presión (ψ_p). Es el potencial o energía que tiene el agua debido a la presión de una columna de agua por encima de ese punto. Este valor es positivo y se cuantifica en aquellos suelos o fracciones del perfil sumergidos en agua (Sierra *et al.*, 2011).

Potencial mátrico (ψ_m): Es el generado por las fuerzas de adhesión y cohesión con que el suelo retiene al agua. Su valor es siempre negativo ya que la presión que origina se opone a la salida del agua desde el suelo cuanto más seco está el suelo, más bajo es el potencial mátrico y mayor será la presión que habrá de aplicar para extraer el agua del suelo por parte de las raíces. En suelos saturados este potencial es igual a cero (Cadena, 2016).

Potencial Osmótico (ψ_s): Es la reducción de energía libre del agua debido a la presencia de solutos. Adquiere importancia cuando el agua está separada por una membrana semipermeable, siempre se presenta en las células y su valor es negativo (Silva *et al.*, 2015).

4.5. La Curva de Retención del suelo

Según Vásquez *et al.*, (2017), “la curva de retención de humedad también llamada curva pF del suelo, representa la relación existente entre el contenido de humedad del suelo y su correspondiente estado energético o potencial con que el agua está retenida en el suelo” (p.100).

La curva característica de humedad se puede construir a partir de medidas experimentales o de ecuaciones empíricas. En el campo se puede utilizar el tensiómetro, para potenciales matriciales altos, mientras que en laboratorio se recurre a placas de succión, equipo de placas de presión y al desecador de vacío (Lanfranco *et al.*, 2014).

La información que se obtiene de la curva permite:

- Conocer el volumen total de poros y la distribución de los poros por rangos de tamaño

- Determinar la capacidad de aireación del suelo para las raíces y el espacio poroso drenable.
- Determinar el rango de agua aprovechable para las plantas y el volumen de agua rápidamente aprovechable
- Conocer el espacio poroso físicamente inerte. (Valarezo *et al.*, 1998).

4.5.1. Factores que determinan la forma de la curva característica de humedad del suelo

La curva de retención de agua de un suelo está influenciada por características texturales, estructurales y químicas del sistema suelo, así como por la temperatura del agua del suelo (Vásquez *et al.*, 2017).

La relación de la curva característica de humedad del suelo con la textura, se presenta en que mientras a mayor contenido de arcilla, mayor será el contenido de agua retenida a cualquier succión particular y más gradual será la pendiente de la curva. En un suelo arenoso, generalmente los poros son relativamente grandes, por lo que, una vez que éstos han sido vaciados a una cierta succión, solamente queda retenida una pequeña cantidad de agua (Valarezo *et al.*, 1998).

Igualmente, el contenido de materia orgánica tiene influencia sobre la forma de la curva y la retención de agua del suelo. El aumento del contenido de materia orgánica del suelo, se refleja en el incremento de la capacidad total de retención de agua dado que almacena 6 a 8 veces su masa en agua (Ghisolfi, 2011).

4.5.2. Puntos importantes de la curva de retención de humedad del suelo

Capacidad de campo (CC):

Se expresa como el contenido de agua presente en el suelo después de haber transcurrido 48 horas de un riego o una lluvia intensa. Después de este tiempo empieza un drenaje lento del agua retenida en el suelo. Corresponde aproximadamente al contenido de agua del suelo a una tensión o potencial mátrico del agua de 0,33 bares, en un equipo de placas de presión (Lanfranco *et al.*, 2014, p. 226).

Por lo general, los suelos arcillosos o con mayor contenido de materia orgánica (superior al 5% de materia orgánica) presentan una mayor capacidad de retención de agua del suelo con una capacidad de campo promedio que oscila entre 35 y 40%vol. Por el contrario,

los suelos arenosos tienen una menor capacidad de retención de agua y la capacidad de campo se encuentra entre 10 y 15 vol. (Chavarría y Pessoa dos Santos, 2012).

Punto de Marchitez permanente (PMP)

Indica el contenido mínimo de humedad del suelo que puede soportar el crecimiento de las plantas y por debajo del cual las plantas no pueden recuperarse. El punto de marchitez se define como -15 bares, es decir, el agua por debajo de este punto se retiene con tanta fuerza en el suelo que las plantas no pueden acceder a ella (Silva *et al.*, 2015, p. 4).

El valor de punto de marchitez varía ampliamente entre los diferentes tipos de textura de los suelos, clima y tipo de planta, que van desde 7% en suelos arenosos a 24% en suelos arcillosos (Datta *et al.*, 2017).

Agua Aprovechable

Representa el contenido de humedad que el suelo es capaz de retener entre CC y PMP. Corresponde valores entre 0.3 y 15 atmósferas, lo que nos indica que el esfuerzo que hace una planta para disponer de agua a CC es mucho menor que a PMP. Cuando la humedad de un suelo se sitúa cerca al valor del PMP dependiendo de la especie y la etapa fisiológica del cultivo se tendrá disminución de la producción (Cadena, 2016).

Capacidad de Aireación (CA)

La composición del aire del suelo depende en gran medida de la cantidad de espacio poroso aprovechable, junto con las tasas de reacciones bioquímicas y del intercambio gaseoso. Cuando un suelo tiene menos del 10 al 12 % de espacio poroso, la renovación del oxígeno es extremadamente lenta y la mayoría de las plantas se ven afectadas, pero si la capacidad de aireación es mayor a 10 - 15 %, la aireación es satisfactoria para el crecimiento de las plantas. (Valarezo *et al.*, 1998).

4.6. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.

La distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo (líquido, sólido y gaseoso) a capacidad de campo, sirve para estimar la condición física del suelo en relación con el crecimiento de las plantas.

Para ello se emplea el “diagrama triangular”, en el que en la base del mismo se visualiza los valores porcentuales del volumen de la capacidad de aireación, cuyos poros tienen un diámetro equivalente mayor a 30 micras. En el lado derecho del triángulo se encuentran los valores porcentuales del agua aprovechable, con un diámetro equivalente de poros de 0,2 a 30

micras. El lado izquierdo del triángulo contiene los valores porcentuales del volumen físicamente inerte del suelo, que es igual al volumen de sólidos más el volumen inútil de poros. Comprende los poros menores a 0,2 micras, que no aportan ni aire ni agua a las raíces.

Está estructurado en cinco zonas el diagrama triangular. La zona I, corresponde a una situación muy pobre de las condiciones físicas del suelo para las plantas; mientras que la zona V se la considera muy buena, ya que hay disponibilidad de agua y de aire. Las zonas II, III y IV corresponden a las condiciones pobre, medio y buena en su orden. (Valarezo *et al.*, 1998) (Anexo 1).

4.7. Movimiento del agua en el Suelo

El suelo puede dejar pasar agua a su través dado que se trata de un medio poroso con un sistema de poros interconectados. En campo, raramente se dan unas condiciones de equilibrio termodinámico en el sistema suelo-agua. El movimiento del agua en forma líquida es el resultado de diferencias de potencial hidráulico entre distintos puntos (Lanfranco *et al.*, 2014).

Según Vásquez *et al.*, (2017), los factores más importantes que influyen en la velocidad del flujo de agua en el suelo son los siguientes:

- El gradiente hidráulico o fuerza motriz, que es igual a la diferencia de potencial del agua entre dos puntos del suelo, dividida por la distancia que separa a ambos puntos.
- El grado de facilidad con que el suelo permite el flujo del agua, llamado también como la capacidad de movimiento del agua en el suelo (conductividad hidráulica).

4.7.1. Infiltración del agua en el suelo

La infiltración, comúnmente definida como la entrada de agua dentro del perfil del suelo en forma vertical, es un proceso de gran importancia práctica para el diseño y la evaluación del riego en la parcela (Delgadillo y Pérez, 2016).

La tasa de infiltración se ve afectada por características del suelo como la facilidad de entrada, la capacidad de almacenaje y la tasa de transmisión por el suelo. En el control de la tasa y capacidad infiltración desempeñan un papel la textura y estructura del suelo, los tipos de vegetación, el contenido de agua del suelo, la temperatura del suelo y la intensidad de precipitación (Rivera y Dallatorre, 2018).

Según Lanfranco *et al.* (2014), las subdivisiones de la infiltración del agua en el suelo son:

Infiltración instantánea (I.ins): Es el volumen de agua que se infiltra a través de una superficie de suelo horizontal unitario en cualquier instante del tiempo.

Infiltración acumulada (I.cum): es el volumen total de agua que se ha infiltrado por unidad de superficie del suelo, durante un período determinado de tiempo (inicio y final de la prueba).

Infiltración media (I.av): Es la infiltración acumulada dividido por el tiempo desde el inicio y el final de la prueba de infiltración.

Infiltración básica (Ib): Es la infiltración que presenta una tasa relativamente constante, la misma que se alcanza después de 3 o 4 horas de iniciada la prueba.

4.7.2. Interpretación de los valores de la infiltración básica

En la Tabla 1 para diferentes rangos de valores de la infiltración básica se distinguen las siguientes categorías:

Tabla 1. Categorías de la infiltración básica

Infiltración básica (cm h ⁻¹)	Interpretación
< 0,127	Muy lenta
0,127 – 0,50	Lenta
0,50 – 2,00	Moderadamente lenta
2,00 – 6,35	Media
6,35 – 12,7	Moderadamente rápida
12,7 – 25,0	Rápida
>25,0	Muy rápido

4.8. Propiedades químicas del Suelo

4.8.1. pH

Según Soriano (2018), “el pH del suelo expresa el grado de acidez del suelo, es decir la concentración (en forma logarítmica) de hidrogeniones H⁺ que existen en el suelo. El pH influye sobre la actividad microbiana y sobre la disponibilidad de los diferentes elementos esenciales para el crecimiento vegetal” (p.2-8).

4.8.2. *Acidez Intercambiables*

La acidez intercambiable en los suelos es el resultado de la presencia de hidrógeno (H⁺) y Aluminio (Al³⁺) que causan una disminución en los pH retenidos en los coloides del suelo por fuerzas electrostáticas, se considera que contenidos en el suelo mayores que 0.5 cmol (+) /L podrían ser problemáticos para los cultivos (Espinosa y Molina,1999).

4.8.3. *Saturación de Bases (SB)*

Es un parámetro que indica la cantidad de la capacidad de intercambio catiónico, que está siendo ocupada por las bases o iones de cambio (Ca, Mg, K y Na) (Padilla, 2007).

4.8.4. *Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE)*

Se refiere a la capacidad que tiene un suelo de mantener una carga eléctrica. Cuantas más partículas pequeñas (0.002 mm) tenga un suelo, mayor capacidad de carga tiene (Acosta, 2007, p. 3). Se puede expresar de la siguiente manera:

$$\text{C.I.C. Total} = \text{SB} + (\text{H} + \text{Al})$$

La CIC de un suelo variará de un horizonte a otro y dependerá del contenido y tipo de arcilla y de compuestos orgánicos. En unidades SI se expresa en centimoles de carga positiva por kilogramo (cmol kg⁻¹) (Porta *et al.*, 2003, p. 235).

Generalmente, los suelos con alta CIC, son aquellos con altos contenidos de arcilla y/o materia orgánica brindando mayor capacidad para retener nutrientes, eso normalmente los hace más fértiles. Además, la CIC afecta directamente la cantidad y frecuencia de aplicación de fertilizantes (INTAGRI, 2015).

La CICE es el parámetro más indicado para trabajar con fines de fertilización, debido a que corresponde a las cargas del suelo que están disponibles para los procesos de intercambio, (Ca, Mg, K, Na y Al). El ion H⁺ no es intercambiable, porque está adsorbido en la CIC por enlaces covalentes, siendo retirado solamente por neutralización (reacción con OH⁻) cuando se realiza la aplicación de la cal en el suelo (Padilla, 2007).

Por lo tanto:

$$\text{C.I.C. Efectiva} = \text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + (\text{Na}) + \text{Al}$$

$$\text{C.I.C Efectiva} = \text{SB} + \text{Al}$$

4.8.5. Fertilidad del Suelo

La fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre la fertilidad física y la fertilidad química, que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Sánchez, 2007).

Según Valarezo (2012), se distingue dos tipos de fertilidad química del suelo: fertilidad potencial y fertilidad actual.

La fertilidad potencial es la capacidad del suelo para suplir elementos nutritivos desde sus reservas inorgánicas y orgánicas, a través de los procesos de meteorización y mineralización microbiana, respectivamente.

La fertilidad actual hace referencia a la tasa a la cual los elementos nutritivos se convierten en aprovechables para los cultivos.

4.8.6. Materia Orgánica

La materia orgánica del suelo constituye un sistema complejo y heterogéneo, con una dinámica propia e integrado por diversos grupos de sustancias. La materia orgánica del suelo se compone de vegetales, animales y microorganismos vivos, sus restos, y las sustancias resultantes de su degradación físico-química (Jordán, 2010, p.,25).

Los componentes de la materia orgánica del suelo en su composición química son: carbono: 52 - 58%; oxígeno: 34 - 39%; hidrógeno: 3,3 - 4,8%; nitrógeno: 3,7 - 4,1%, y en menor proporción S, P, B, K, Ca, Mg, Fe y Mo, entre otros (Porta *et al.*, 2014).

La materia orgánica tiene efecto sobre las propiedades físicas del suelo, formando agregados estables, uniéndose a las arcillas y formando el complejo de cambio, favoreciendo la penetración del agua y su retención, disminuyendo la erosión y compactación del suelo y favoreciendo el intercambio gaseoso. En las propiedades químicas del suelo aumenta la capacidad de cambio del suelo y la disponibilidad de nutrientes y reserva para los cultivos (Julca *et al.*, 2006).

4.9. Nutrientes esenciales para el cultivo de papa

White *et al.* (2007) manifiesta que el cultivo de la papa demanda grandes cantidades de nutrimentos, principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) durante todo su ciclo vegetativo que permitan a la planta expresar su mejor rendimiento, calidad y resistencias a condiciones adversas, cambios bruscos de temperatura, estrés hídrico y enfermedades (Kramm, 2017).

- **Nitrógeno**, es un nutriente esencial para el crecimiento y el desarrollo de la papa, su disponibilidad en el suelo en dosis requeridas promueve la organogénesis y el control del crecimiento del follaje y favorece la producción de tubérculos de mayor tamaño (Echeverría, 2005).
- **Fosforo**, elemento constitutivo de los tejidos vegetales y forma parte de los ácidos nucleicos. Estimula el crecimiento inicial de las plantas y la formación de las raíces; acelera la madurez y estimula la producción de semillas (Kramm, 2017).
- **Potasio**, ayuda a la formación de fécula y proporciona a las plantas una mayor resistencia a las heladas, a la sequía y a enfermedades especialmente al mildiu, y hace que su conservación sea más fácil. Los calibres de los tubérculos se ven incrementados al aumentar las aportaciones potásicas, asegurando un mayor porcentaje de tubérculos grandes. Un exceso de abonado potásico puede bloquear al magnesio (SEPHU, 2010).
- **Magnesio**, cumple varias funciones vitales para la planta como constituyente del núcleo central de la molécula de la clorofila y como tal elemento clave para la fotosíntesis, participa activamente en las transformaciones del nitrógeno, transformación o transporte de energía en la planta y es esencial para la síntesis de carbohidratos, proteínas y aceites. También ayuda a la resistencia al ennegrecimiento de la papa y a la duración del almacenamiento (Jimenez, 2017).
- **Calcio**, juega un rol importante en el desarrollo y productividad de la papa. Una mayor concentración de calcio en los tubérculos se relaciona con una mejor calidad y resistencia a enfermedades que atacan al cultivo. Por otra parte, la deficiencia de este elemento favorece desordenes fisiológicos, lo que afecta sus cualidades para el procesamiento industrial (Martínez y Acuña, 2021).
- **Azufre**, es un constituyente de tres de los aminoácidos esenciales (cistina, cisteína, metionina), siendo en consecuencia esencial en la síntesis de proteínas. Por su contenido de aminoácidos es una fuente de nutrición (Kramm, 2017).
- **Boro**, cumple roles específicos en en la germinación y crecimiento de los tubos polínicos y en el transporte de azúcares (Inostroza *et al.*, 2017).

4.10. Fertilización de la papa

Existen diferentes requerimientos de nutrientes en el cultivo de la papa, dependiendo del autor en referencia, esto se debe a los distintos ambientes de estudio y cambios en las variedades utilizadas.

A continuación, se presenta una Tabla 2 los requerimientos de macro y micronutrientes para la papa con distintos autores que proponen para el cultivo de la papa, de acuerdo a la interpretación del análisis químico del suelo alto, medio y bajo.

Tabla 2. Requerimientos de macro y micronutrientes en papa

Autores	I	N	P	K	S	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	B
INIAP, 2009	B	150-200	131-175	83-125	20-30							
	M	100-150	87-130	50-83	10-20							
	A	50-100	43-87	25-50	0-10							
INIAP, 1984	B	200	131	125								
	M	150	65	83								
	A	50	35	33								
Iñiguez, 2007	B	150	131	125								
	M	100	87	83								
	A	70	44	42								
INIAP,2002	B	150-200	131-175	83-125	40-60							
	M	100-150	87-131	50-83	20-40							
	A	60-100	44-87	33-50	0-20							
Araujo <i>et al.</i> , (2021)		180	73	250	60	8	48					1

Nitrógeno (N); Fósforo (P); Potasio (K); Azufre (S); Calcio (Ca); Magnesio (Mg); Zinc (Zn); Cobre (Cu); Hierro (Fe); Manganeso (Mn); Boro (B).

B=bajo; M= medio; A=Alto

4.11. Relación de Cationes

Con los resultados de los análisis químicos, se calcula la relación de cationes intercambiables: Ca Mg^{-1} , Mg K^{-1} , $(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$, partiendo de esta información se evalúa el balance de cationes según la Tabla 3 y se toman decisiones pertinentes referidas a la adición de los fertilizantes que se encuentran en desequilibrio.

Tabla 3. Relaciones entre cationes intercambiables adecuados para el cultivo de papa

Autores	Relación entre cationes	Rangos óptimos cmol.kg^{-1}	Nivel crítico	Recomendación
(Méndez y Meier, 2019)	Ca Mg^{-1}	4,3 - 5,5		
	Mg K^{-1}	3,3 -3,8		
	$(\text{Ca}+\text{Mg}) \text{K}^{-1}$	20 – 21,7		
	Ca Mg^{-1}	3,6		

(Molina et al.,2004)	Mg K ⁻¹	3,6		
	(Ca+Mg) K ⁻¹	16,6		
(Hernández.,2021)	Ca Mg-1	2,0 - 5,0	Si <2,0	Agregar calcio
			Si >5,0	Agregar magnesio
	Mg K-1	2,5 - 15,0	Si <2,5	Agregar magnesio
			Si >15	Agregar potasio
			Si <10	Agregar calcio y magnesio
	(Ca+Mg) K-1	10,0 - 40,0	Si >40	Agregar potasio

Fuente: El autor, 2024.

4.12. Curva de Absorción del cultivo de la papa

Las curvas de absorción de los nutrientes permiten elaborar planes de fertilización óptimos para alcanzar un mejor rendimiento y calidad de los tubérculos en papa (Arteaga, *et al.*, 2022).

La mayoría del N absorbido por la planta se presenta antes del periodo de máximo crecimiento y desarrollo del tubérculo, lo cual significa que antes del llenado de tubérculos la planta consume más de 50% con una demanda diaria de 7 kg ha⁻¹ día, para el caso del P la demanda oscila entre 0.4 a 0.9 kg ha⁻¹ día a mitad del ciclo dependiendo de la variedad y clima. Para el K la absorción es de 5 a 14 kg ha⁻¹ día (Horneck y Rosen, 2008).

4.13. Eficiencia de los fertilizantes

La eficiencia de uso de los nutrientes describe como las plantas o los sistemas de producción utilizan los nutrientes. Es un factor de importancia a nivel productivo, económico y ambiental. Optimizar la eficiencia de uso de los nutrimentos conlleva la aplicación correcta de fertilizantes, esto es: dosis correcta, fuente correcta, en el momento correcto y en la ubicación correcta (Ciampitti y García, 2008).

4.14. Enmiendas y suelos ácidos

La producción de cultivos se limita considerablemente cuando un suelo es ácido y el manejo de los suelos afectados por estas condiciones depende del tipo de carga eléctrica de las arcillas del suelo. Los suelos dominados por arcillas de tipo 2:1 como montmorillonita y vermiculita, que se caracterizan por tener carga permanente, deben manejarse de forma diferente a los suelos de carga variable como los suelos dominados por arcillas de rango corto como alofana, imogolita y complejos humus aluminio (suelos de origen volcánico) y aquellos dominados por caolinita y sesquióxidos de hierro y aluminio (Espinosa *et al.*, 2022).

En los suelos dominados por arcillas de tipo 2:1, la reducción en saturación de bases (pérdida de K, Ca y Mg) desarrolla acidez. Este incremento en acidez (reducción del pH) conduce a la ruptura de la estructura de los cristales de las arcillas y a la liberación de su Al estructural (Espinosa & Molina, 1999).

4.15. Suelos ácidos en el Ecuador

Ecuador tiene una diversidad de suelos producto de la variedad de materiales parentales y de condiciones ambientales sobre los cuales se desarrollaron. La acidez está presente en un 23.9 % de los suelos del Ecuador. En la Sierra, los suelos ácidos se ubican principalmente en las provincias de Azuay, Carchi, Loja, Tungurahua, Cañar y Pichincha, la mayoría en suelos clasificados como Andisoles e Inceptisoles (Espinosa *et al.*, 2022).

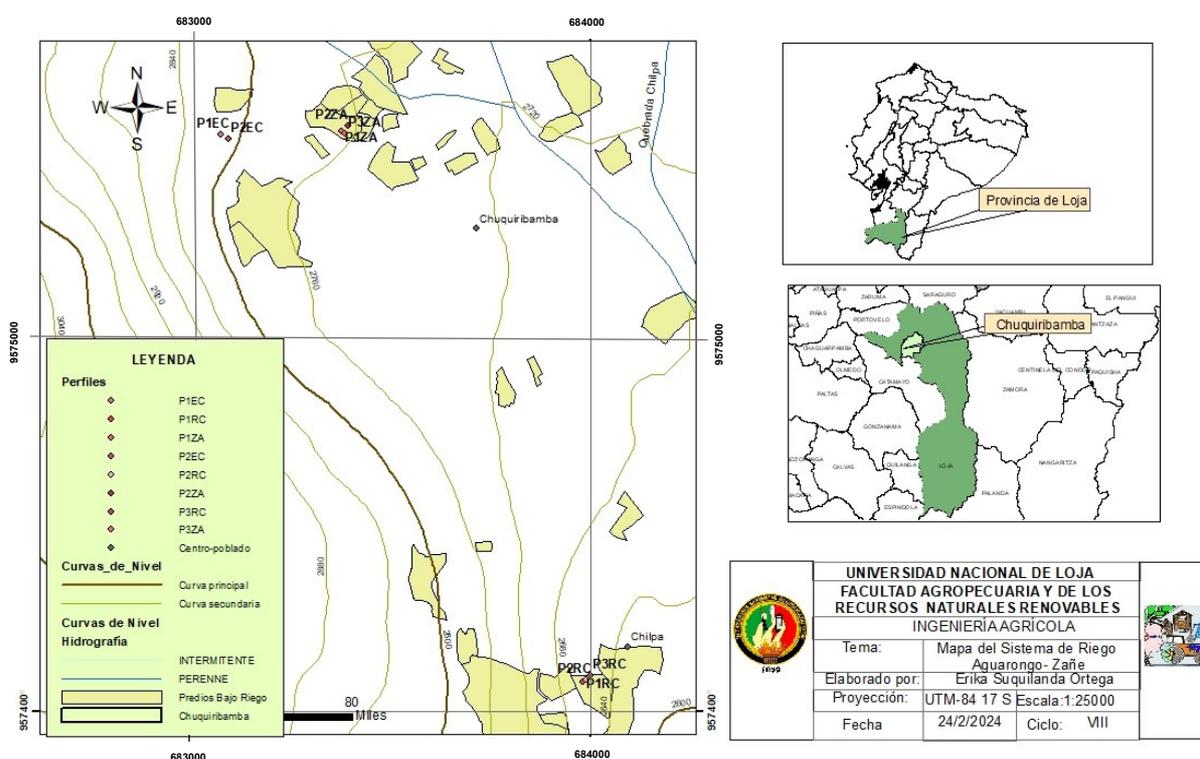
5. Metodología

5.1. Descripción del área de estudio

El sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe, pertenece a la parroquia de Chuquiribamba; cantón Loja ubicada 49 km al noroccidente de la ciudad de Loja.

La zona de estudio integra parte de la cuenca hidrográfica del Catamayo - Chira, en la subcuenca del Río Trapichillo, ubicado en las siguientes coordenadas planas: desde 682378 E; 9572989 N, hasta 684520 E; 9578694 N.; en el rango altitudinal entre de 2620 y 2871 m s.n.m aproximadamente; se sitúa en la proyección Universal Transversa de Mercator, DATUM WGS 84- Zona 17 Sur (Pauta, 2019).

MAPA DE UBICACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO AGUARONGO-ZAÑE



Fuente: El autor, 2024.

Figura 2. Ubicación del Sistema de riego Aguarongo - Zañe

La parroquia de Chuquiribamba posee un clima semi-húmedo; tiene una precipitación que va de 800 mm a 1300 mm, siendo los cuatro primeros meses del año los más húmedos y meses menos húmedos son agosto y septiembre; la temperatura oscila entre 10°C a 20°C y la velocidad de viento es de 8 km h⁻¹ (Chamba, 2021).

El Sistema de Riego Aguarongo se caracteriza por una fisiografía de ladera, con formaciones que van de colinado a plano ondulado, presentan suelos franco arcillosos de origen de lavas andesíticas y basalto (Valarezo, 2017). Las texturas predominantes son franco arenoso correspondiente a un 56,01% (55,06 ha) y franco arcilloso con un 43,99% (43,24 ha).

La superficie regada por el Sistema de Riego de acuerdo a las pendientes según la clasificación de la FAO (1984) están en el rango de: 0-8% con una superficie de 3,12 ha; de 8-25% una superficie de 42,25 ha; de 25-58% con una extensión de 43,06 ha y finalmente mayores al 58% tienen una superficie de 9,87 ha. El Sistema de Riego del módulo 4 tiene una superficie de 20 ha de las cuales el 18,3 % ha se encuentran bajo riego. (Pauta, 2019).

El Sistema de Riego Aguarongo –Zañe fue construido, hace más de 30 años, por el extinto Instituto Nacional Ecuatoriano de Recursos Hídricos INERHI, misma que capta las aguas de dos quebradas Quebrada Aguarongo y Zañe (Gobierno Provincial de Loja, 2018).

5.2. Materiales

Los materiales y equipos necesarios para llevar las diferentes prácticas en campo y laboratorio para evaluar las propiedades físico-químicas son: equipo de muestreo para muestras no disturbadas, barrenos, muestreador de suelos no disturbados, cilindros kopecky de 100 cm³, espátula, combo de goma, tabla Munsell, recipientes plásticos; y, balanza de precisión, estufa, crisoles, ollas de presión Richard.

En la presente investigación los materiales de oficina que se emplearon son los siguientes: computador portátil, cartas topográficas del IGM y una cámara fotográfica.

5.2.1. Método de la investigación

La investigación es cuantitativa descriptivo y en un estudio de caso que se analizarán si existe relación con datos recopilados y determinados en el campo mediante análisis de laboratorio y cálculos matemáticos que se aplicarán en esta investigación.

5.3. Metodología para el primer objetivo

Caracterización física y química de los suelos del sector la Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.

Para la elección de los terrenos se consideró los siguientes rangos de pendiente: 0-8, 8-25 y 25- 58 % con una extensión de 1000 m², en los que se realizó el levantamiento topográfico y el replanteo empleando los planos adjuntos en el anexo 2, además se construyeron tres calicatas

de 1,2 m x 1,5 m x 1,2 m en cada una de las parcelas en la que se describió los horizontes de suelo, basándose en las normas contenidas en la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos” de La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2009). La designación de los horizontes y capas se ejecutará siguiendo de la nomenclatura contenida en el USDA Soil Taxonomy (2014) (Anexo 2).

El color se evaluó por el método de observación con la ayuda de la tabla Munsell (Domínguez Soto *et al.*, 2012), mientras que la textura se determinó mediante el método de Bouyoucos (Beretta *et al.*, 2014).

De los primeros dos horizontes del perfil del suelo, se procedió a la recolección de muestras inalteradas por duplicado con la ayuda de los cilindros kopecky de 100 cm³ de volumen para la determinar densidad aparente, y la retención de humedad: saturación (pF=0), capacidad de campo (pF= 2; pF=2,52), punto de marchitez permanente (pF= 4,2). Con estos datos se elaboraron las curvas de retención de humedad y determinar varios parámetros, incluyendo porosidad total, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, capacidad de aireación, agua aprovechable y volumen de poros físicamente inerte. Por último, a través del diagrama triangular se evaluó las condiciones físicas del suelo para el desarrollo de las plantas.

En cada sector de estudio, se determinó la velocidad de infiltración a una distancia aproximadamente 1 a 2 m (Anexo 4) de cada perfil del suelo, mediante el método del doble anillo infiltrómetro, durante el tiempo de 4 horas hasta alcanzar la infiltración básica. Los datos obtenidos en el campo se procesaron en una hoja electrónica, los valores de K y n de la ecuación de Kostiakov: $I_{cum} = K T^n$ se obtuvieron a partir de graficar la curva de infiltración acumulada en escalas doble logarítmica y en Excel. Se calcularon las velocidades de infiltración media e instantánea en cm.min⁻¹ para cada uno de los tiempos; así como, la velocidad de infiltración básica en cm.h⁻¹ por regresión lineal.

Para determinar las características químicas de las tres unidades de suelo se procedió a la recolección de muestras alteradas en las tres unidades de suelo a una profundidad de 25 cm para determinar: el contenido de N, P, K, Ca, S, Mg, Cu, Fe, Mn, B y Zn a través del método de Solución extractora Olsen Modificado (RALASE, 2016); el pH por el método del potenciómetro (Ruiz, 2018); capacidad de intercambio catiónico por el método de Formaldehído (Guerrero, 2019); contenido de materia orgánica mediante el método de Walkley Black (Méndez, 2016), y la acidez intercambiable por el método de Day en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas (INIAP). Por otra parte, se recolecto el material parental

de los perfiles de suelo para su respectiva descripción y en base a la carta geológica se comparó la geología del sitio (Anexo 3).

5.4. Metodología para el segundo objetivo

Elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa en la Sector la Dolorosa.

Se procedió a elaborar un plan de enmiendas considerado: pH, aluminio intercambiable (Al^{+3}) y la relación de cationes óptimo en el cultivo de papa.

Para la elaboración del plan de fertilización se lo realizó con los resultados de los macro y micronutrientes disponibles en el suelo, requerimientos del cultivo y la curva de absorción de nutrientes para la papa nativa.

Para la determinación de la dosis de K, Ca y Mg se realiza por relación de cationes; y N, P, S, y micronutrientes por oferta y demanda. La distribución de nutrientes se realizó en función de la etapa fenológica del cultivo, con la ayuda de la curva de absorción del cultivo de papa. Luego este contenido se transforma en equivalentes químicos; se determina el equilibrio entre cationes y aniones; si existe diferencia se iguala a través del factor de conversión y finalmente se transforma en $kg\ ha^{-1}$ y $g\ planta^{-1}$ para ser aplicada al cultivo.

6. Resultados

6.1. Caracterización física y químicamente los suelos del sector la Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.

La geología del sector corresponde a la formación Unidad Tesalia donde predominan brechas y autobrechas volcánicas básicas e intermedias y lavas andesíticas; y, un depósito coluvial con predominio de avalanchas con bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas (Anexo 4).

El material parental en las unidades geomorfológicas donde se ubican los perfiles de suelo de Zoila Anguinsaca (P1ZA, P2ZA Y P3ZA) corresponde a andesita, andesita basáltica, y tobas dacíticas. Los perfiles de suelo de Rosa Caraguay (P1RC, P2RC y P3RC) se encuentran sobre andesitas basálticas, riolita y basalto; y, los perfiles de suelo de Emilio Curipoma (P1EC, P2EC) sobre un material de tobas andesíticas basálticas, riolita alteradas a caolín y riolita alterados con óxido de Fe (Anexo 3).

Características morfológicas del sector de estudio.

Perfil P2ZA (pendiente 0-8%).

Clasificación Taxonómica:	Sub grupo: Inceptic Hapludalfs.
Ubicación del perfil:	683414 m E y 9 575420 m N
Altitud:	2 740 m s.n.m.
Fisiografía:	Pendiente de 9 % con relieve tipo vertiente cresta
Material Parental:	Rocas metamórficas andesitas, andesitas basálticas y tobas dacíticas .
Drenaje interno:	Bueno.

Descripción general del perfil:

Un suelo joven en proceso de formación integrado por 4 capas u horizontes: un horizonte Ap de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso al tacto, marrón amarillento oscuro; un horizonte Bw de 20 cm de espesor, franco arcilloso al tacto, marrón oscuro; un horizonte Bt con un espesor de 15 cm, arcilloso limoso al tacto, marrón; un horizonte BC en proceso de desarrollo con un espesor de 25 cm, arcillo limoso al tacto, marrón grisáceo muy oscuro y finalmente un horizonte C de espesor de 30 cm, arcillo limoso al tacto, marrón amarillento. La profundidad efectiva de las raíces es de 35 cm. Ausencia de carbonatos (Figura 3).

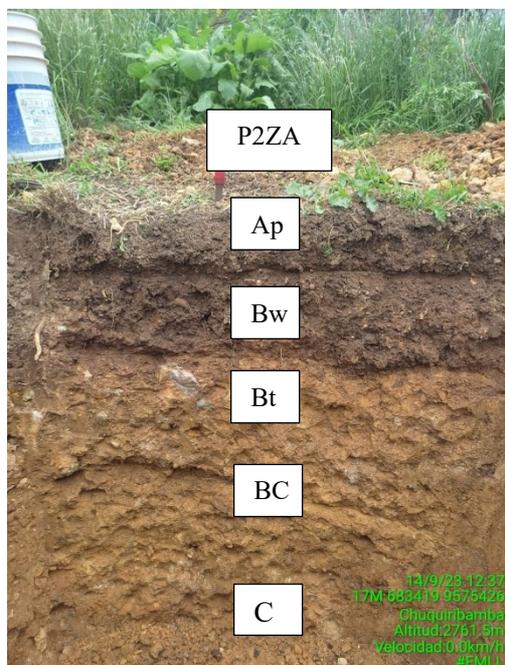


Figura 3. Perfil 2 de la unidad de suelo P2ZA

Condiciones Físicas:

En la capa de 00-20 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,06 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros es aceptable ($58,25\% \theta_v$). La retención de agua a pF4,20 es de $25,03 \text{ } \theta_v$, valor que indica que menos de la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF2,00 indica que la capacidad de aireación ($12,35\% \theta_v$) se encuentra en el rango medio, el agua aprovechable ($20,87\% \theta_v$) se ubica en el rango muy alto, y el volumen del suelo físicamente inerte es aceptable ($66,78 \text{ } \theta_v$), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona III del diagrama triangular, equivalente a media. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación ($13,25\% \theta_v$) se encuentra en el rango medio y el agua aprovechable ($19,97\% \theta_v$) en el rango alto.

La condición física de la capa 20-40 cm (horizonte B_w) la densidad aparente es de $1,11 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros ($60,01\% \theta_v$), valor considerado como alto. La retención de agua a pF 4,20 es de $28,95 \text{ } \theta_v$, valor que indica que menos de la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 muestra que la capacidad de aireación ($13,66\% \theta_v$) se localiza en un rango medio, el agua aprovechable ($17,41\% \theta_v$) se ubica en el rango alto, y el volumen físicamente inerte es

considerado aceptable (68,94% θ_v), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona III del diagrama triangular, equivalente a medio. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación (15,21% θ_v) se encuentra en el rango alto y el agua aprovechable (15,86% θ_v) en el rango alto.

Tabla 4. Retención de humedad en el rango de pF 0,0 a pF 4,20 de los dos primeros horizontes de los 8 perfiles, en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zaña.

Perfil de Suelo	Pendiente %	Profundidad cm	Da g.cm ⁻³	Porosidad total % θ_v pF0	Capacidad de campo % θ_v pF2,00	Capacidad de campo % θ_v pF 2,52	Punto Marchitez % θ_v pF4,20
P2ZA	9	Ap (00-20)	1,06	58,25	45,90	45,00	25,03
		Bw (20-40)	1,11	60,01	46,36	44,81	28,95
P2RC	11	Ap (00-10)	1,23	51,89	48,95	47,41	31,48
		Bw (10-30)	0,97	58,40	43,14	40,74	24,70
P2EC	35	Ap (00-25)	0,89	62,90	50,09	46,81	17,88
		Bw (25-55)	0,98	59,96	49,48	46,69	24,37

Tabla 5. Capacidad de aireación, agua aprovechable, volumen físicamente inerte y zona del diagrama triangular, de los dos primeros horizontes de los perfiles de la Dolorosa.

Perfil de Suelo/Usos	Pendiente %	Profundidad cm	CA % θ_v pF 2	CA % θ_v pF2,5	AA % θ_v pF 2	AA % θ_v pF2,5	VFI % θ_v	Zona del diagrama pF2,0	Equivalencia
P2ZA Pasto/Alfalfa	9	Ap (00-20)	12,35	13,25	20,87	19,97	66,78	III	Media
		Bw (20-40)	13,66	15,21	17,41	15,86	68,94	III	Medio
P2RC Barbecho/Pastor	11	Ap (00-05)	2,94	4,48	17,47	15,92	79,59	I	Muy Pobre
		Bw (05-20)	15,26	17,66	18,44	16,04	66,30	III	Medio
P2EC Cultivo de maíz/ papa	35	Ap (00-30)	12,80	16,08	32,21	28,93	54,98	III	Medio
		Bw (30-45)	10,48	13,26	25,10	22,32	64,41	III	Medio

Capacidad de Aireación (CA); Agua Aprovechable (AA); Volumen físicamente Inerte (VFI)

Con los resultados obtenidos (Tabla 4) se elaboró las gráficas de las curvas características de humedad del suelo (Anexo 14 y Anexo 15). En base a los valores determinados de la Tabla 4, se determinaron los siguientes parámetros: capacidad de aireación, agua aprovechable; y, volumen de suelo físicamente inerte (Tabla 5).

Características morfológicas del sector de estudio.

Perfil P2RC (pendiente 8-25%).

Clasificación Taxonómica:	Sub grupo: Chromic Vertic Hapludalfs.
Ubicación del perfil:	683988 m E y 9 574077 m N
Altitud:	2 626 m s.n.m.
Fisiografía:	Pendiente de 11 % con relieve tipo vertiente cresta
Material Parental:	Andesitas basálticas y basalto.
Drenaje interno:	Pobre.

Descripción general del perfil:

Suelos jóvenes que presenta 4 horizontes Ap, Bw, Bt, BC y C: un horizonte Ap de 5 cm de espesor, franco arcilloso al tacto, marrón grisáceo oscuro de estructura migajosa; un horizonte Bw de espesor 15 cm, franco arcilloso al tacto, marrón; un horizonte Bt de 15 cm, arcillosa al tacto, marrón; un horizonte BC con un espesor de 25 cm, franco limoso al tacto, marrón y finalmente un horizonte C de espesor de 50 cm, arcilloso al tacto de color gris y amarillo rojizo. En los 30 cm hay presencia de un material gris con estructura prismática angular que se encuentra sobre un material de textura arcillosa que se encuentra a una profundidad de 20 cm. La profundidad efectiva es de 55 cm. Presencia de rocas moderadas andesíticas con fuerte meteorización. Ausencia de carbonatos. En la superficie se observan grietas o fisuras de 5 mm de ancho que se extienden hasta 30 cm de profundidad, distanciadas entre 20 a 30 cm unas de otras (Figura 4)

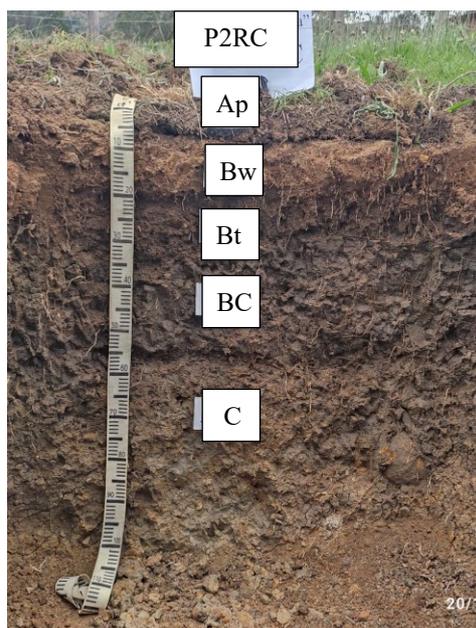


Figura 4. Perfil 2 de la unidad de suelo P2RC

Condiciones Físicas:

En la capa de 00-5 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,23 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros es aceptable ($51,89\% \theta_v$). La retención de agua a pF4,20 es de $31,48 \% \theta_v$, valor

que indica que más de la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF_{2,00} indica que la capacidad de aireación (2,94%θ_v) se encuentra en el rango muy bajo, el agua aprovechable (17,47%θ_v) se ubica en el rango alto, y el volumen del suelo físicamente inerte 79,59%θ_v, valor considerado como alto, la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona I del diagrama triangular, equivalente a muy pobre. Para la retención de agua a pF_{2,52} la capacidad de aireación (4,48%θ_v) se encuentra en el rango muy bajo y el agua aprovechable (15,92%θ_v) en el rango alto.

La condición física de la capa 05-20 cm (horizonte B_w) la densidad aparente es de 0,97 g.cm⁻³, el volumen total de poros (58,40%θ_v), valor considerado como alto. La retención de agua a pF_{4,20} es de 24,7%θ_v, valor que evidencia que es menos de la mitad de la porosidad total del suelo que está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF_{2,00} muestra que la capacidad de aireación (15,26%θ_v) se localiza en un rango alto el agua aprovechable (18,44%θ_v) se ubica en el rango alto, y el volumen físicamente inerte es considerado como aceptable (66,30%θ_v), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona III del diagrama triangular, equivalente a medio. Para la retención de agua a pF_{2,52} la capacidad de aireación (17,66%θ_v) se encuentra en el rango alto y el agua aprovechable (16,04 %θ_v) en el rango alto.

Características morfológicas del sector de estudio.

Perfil P2EC (pendiente 25-58 %).

Clasificación Taxonómica:	Sub grupo: Andic Eutrudepts
Ubicación del perfil:	683125 m E y 9 575389 m N
Altitud:	2 799,1 m s.n.m.
Fisiografía:	Pendiente de 35 % con relieve tipo loma pendiente media
Material Parental:	Rocas tobas andesíticas basálticas.
Drenaje interno:	Bueno.

Descripción general del perfil:

Un suelo joven presenta horizontes: Ap, B_w, BC y C. El horizonte Ap, de espesor de 30 cm, franco arcilloso al tacto, marrón amarillento oscuro; el segundo B_w desde los 30-45cm, franco arcilloso al tacto color gris muy oscuro; un horizonte BC de espesor de 20 m, franca arenosa, amarillenta y finalmente un horizonte C de espesor 55 cm, franco limoso al tacto,

marrón amarillento. La profundidad efectiva llega a los 65 cm y presencia de rocas ligeramente meteorizadas en todo el perfil (Figura 5).

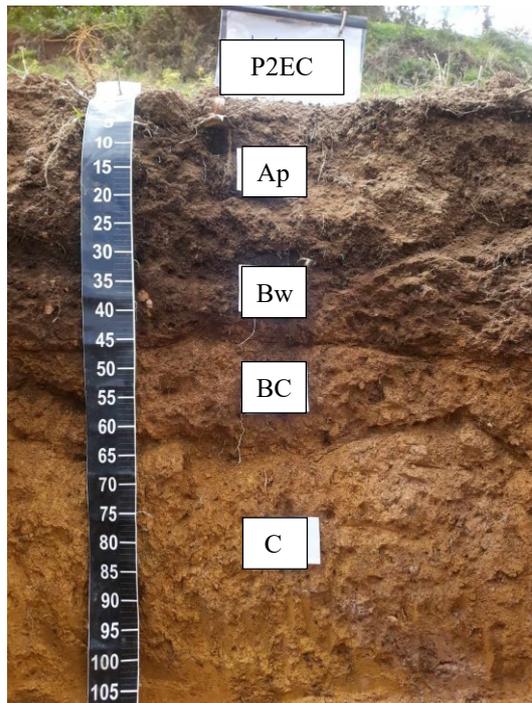


Figura 5. Perfil 2 de la unidad de suelo P2EC

Condiciones Físicas:

En la capa de 00-30 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $0,89 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros es aceptable ($62,90\%\theta_v$). La retención de agua a pF4,20 es de $17,88 \%\theta_v$, valor que indica que menos de la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación ($12,80\%\theta_v$) se encuentra en el rango medio, el agua aprovechable ($32,21\%\theta_v$) se ubica en el rango muy alto, y el volumen del suelo físicamente inerte $54,98 \%\theta_v$, valor considerado como aceptable, la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona III del diagrama triangular, equivalente a medio. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación ($16,08\%\theta_v$) se encuentra en el rango alto y el agua aprovechable ($28,93\%\theta_v$) en el rango muy alto.

La condición física de la capa 30- 45 cm (horizonte B_w) la densidad aparente es de $0,98 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros ($59,96\%\theta_v$), valor considerado como alto. La retención de

agua a pF 4,20 es de 24,37 % θ_v , valor que evidencia que menos de la mitad de la porosidad total del suelo que está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 muestra que la capacidad de aireación (10,48% θ_v) se localiza en un rango medio, el agua aprovechable (25,10% θ_v) se ubica en el rango muy alto, y el volumen físicamente inerte es considerado como aceptable (64,41% θ_v), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona III del diagrama triangular, equivalente a medio. Para la retención de agua pF 2,52 la capacidad de aireación (13,26% θ_v) se encuentra en el medio y el agua aprovechable (22,32% θ_v) en el rango muy alto.

Infiltración

Los valores promedios de las infiltraciones básicas de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo- Zañe oscilan entre 0,35 cm h⁻¹ y 15,25 cm h⁻¹ clasificado como lenta y moderadamente rápida respectivamente (Anexo 6).

Tabla 6. Infiltración básica de los ocho perfiles, en el sector La Dolorosa del Sistema de Aguarongo – Zañe.

Unidad de suelo	Uso de suelo	Pendiente %	Velocidad de infiltración Básica cm h ⁻¹	Equivalencia
P2ZA	Pasto/alfalfa	9	7,54	Moderadamente rápida
P2RC	Barbecho/Pasto	12	0,35	Lenta
P2EC	Cultivo de papa y maíz	35	7,03	Moderadamente rápida

Condiciones Químicas:

Tabla 7. Condiciones Químicas del Sector la Dolorosa

Perfil de Suelo	pH	MO %	CIC cmol kg ⁻¹	Acidez Intercambiable	Textura
	1:2.5(Agua)	%	cmol kg ⁻¹		
P2ZA	4,80	4,50	14,10	2,86	FoAc
P2RC	4,60	3,50	15,72	3,10	FoAc
P2EC	5,00	4,60	19,01	1,55	FoAc

Materia Orgánica (MO); Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

El valor del pH de P2ZA Y P2RC es de 4,8 y 4,6 respectivamente que presentan un rango muy ácido y la unidad P2EC es de pH 5,0 considerado en un rango ácido, la materia orgánica MO de las tres unidades de suelo se obtuvo en un porcentaje de 3-5, en un rango medio y con un contenido de la CIC ubicado en el rango bajo (Tabla 7).

Fertilidad Actual:

Tabla 8. Fertilidad del Suelo del Sector la Dolorosa

Perfil de Suelo	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
	mg kg ⁻¹		meq/ 100g			mg kg ⁻¹					
P2ZA	20,00	39	0,71	7	1,9	15	4	8,8	223	23,3	0,22
Interpretación	M	A	A	M	M	M	M	A	A	A	B
P2RC	11	14	0,24	8	2,7	11	3,4	9	223	61,6	0,19
Interpretación	B	M	M	M	A	M	M	A	A	A	B
P2EC	16,00	93	0,59	13	2,1	10	7,7	7,8	216	10,9	0,24
Interpretación	B	A	A	A	A	M	A	A	A	M	B

Interpretación de los análisis químicos; A= Alto; M= Medio; Bajo=B.

En la Tabla 8 se presentan la fertilidad de las tres unidades de suelos:

- En la unidad de suelo P2ZA el B se encuentra en un rango bajo, el N, Ca, Mg, S, Zn en un rango medio y el P, K, Cu, Fe y Mn en un rango alto.
- En la unidad de suelo P2RC el N y B presentan un rango bajo, el P, K Ca, S, Zn en un rango medio y el Mg, Cu, Fe y Mn en un rango alto.
- En la unidad de suelo P2EC el N y B tienen un rango bajo, el S, y Mn en un rango medio y P, K, Ca, Mg Zn, Cu y Fe en un rango alto.

6.2. Plan de fertilización para el cultivo de la papa nativa

Se realizó el plan de fertilización para satisfacer las demandas nutricionales del cultivo de papa de las tres unidades de suelo del sector la Dolorosa.

Perfil P2ZA

El pH del suelo de la unidad de suelo P2ZA del sector la Dolorosa es de 4,8 muy ácido; es decir no se encuentra en un rango ideal para el cultivo de la papa. En la Tabla 9 se indica el cálculo de la CICE del suelo, donde se usó la relación de 1 cmol kg⁻¹ de Aluminio para 1 cmol kg⁻¹ de calcio, para neutralizar el aluminio intercambiable.

Tabla 9. CICE del suelo de la unidad P2ZA

B. intercambiables	Cmol kg ⁻¹	Cmol kg ⁻¹	Total
Ca ⁺⁺	8,01	1,64	9,65
Mg ⁺⁺	2,21	0,80	3,01
K ⁺⁺	0,79		0,79

Na ⁺	0,23		0,23
Al ⁺⁺⁺	1,64		
CICE 1	12,88	CICE 2	13,68

CICE: Capacidad Intercambio de Cationes Efectivo

La CICE es de 12,88 cmol.kg⁻¹ el Ca⁺⁺ de 8,01, Mg⁺⁺ de 2,21, K⁺⁺ 0,79, Na⁺ 0,23 y Al⁺⁺⁺ 1,64 para mejorar el pH y la relación de cationes se aplicó 3360 kg ha⁻¹ de Calpac Dolomix dando una nueva CICE un total de 13,68 cmol kg⁻¹. En la Tabla 10 se calculó la relación de cationes en el rango adecuado.

Tabla 10. Enmienda y Relación de Cationes para el suelo de la unidad P2ZA

SB	Enmienda			Antes cmol kg ⁻¹	Relación de cationes			
	Antes (%)	Después (%)	R. óptimo (%)		Agregar	Después cmol kg ⁻¹	R. óptimo cmol kg ⁻¹	
Ca	62,19	70,54	60-70	Ca Mg ⁻¹	3,62	Ca-Mg	3,21	2-5
Mg	17,16	22,01	10-20	Mg K ⁻¹	2,80	Mg	3,81	2,5-15
K	6,13	5,77	2-5	(Ca+Mg) K ⁻¹	12,94	Ca-Mg	16,03	10-40

Fuente: El autor, 2024.

Para satisfacer los requerimientos del cultivo de papa en la unidad de suelo P2ZA, se aplicará la siguiente dosis y fertilizantes indicados en la Tabla 11.

Tabla 11. Fertilizantes recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2ZA

Fertilizante	Kg ha ⁻¹	G planta ⁻¹	Fuente
N	134	5,40	Rafos, Nitrato de Potasio
P	44	1,70	Rafos
K	308	12,30	Rafos, Muriato de K, Nitrato de K
Mg	50	2,00	Calpac Dolomix
S	38	1,50	Calpac Dolomix
Ca	25	1,00	Calpac Dolomix
B	1	0,04	Bórax

Fuente: El autor, 2024.

Tabla 12. Fertilizantes en las diferentes etapas fenológicas recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2ZA

Días	Fertilizante	Kg parcelas ⁻¹	Plantas	g planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹
0	Rafos	13,6	1980	6,9	171,8
	Muriato de K	3,9	1980	2,0	49,7
	Bórax	0,7	1980	0,4	9,1
40	Rafos	9,8	1980	5,0	124,1
	Nitrato de K	14,7	1980	7,4	186,0
	Muriato de K	1,3	1980	0,7	16,8

Tabla 15. Enmienda y Relación de Cationes para el suelo de la unidad P2RC

SB	Enmienda			Relación de cationes	Relación de cationes			
	Antes (%)	Después (%)	R. óptimo (%)		Antes cmol kg ⁻¹	Agregar	Después cmol kg ⁻¹	R. óptimo cmol kg ⁻¹
Ca	63,04	72,42	60-70	Ca Mg ⁻¹	3,17	Ca-Mg	3,21	2-5
Mg	19,86	22,55	10-20	Mg K ⁻¹	9,57	Mg-K	8,11	2,5-10
K	2,03	2,78	2-5	(Ca+Mg) K ⁻¹	39,93	K	34,16	10-40

Fuente: El autor, 2024.

Para satisfacer los requerimientos del cultivo de papa en la unidad de suelo P2RC, se aplicará las siguientes dosis y fertilizantes indicados en la Tabla 16

Tabla 16. Fertilizantes recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2RC

Fertilizante	Kg ha ⁻¹	G planta ⁻¹	Fuente
N	153	6,12	Rafos, Nitrato de Potasio
P	103	4,12	Rafos, Superfosfato Triple
K	303	12,16	Rafos, Muriato de K, Nitrato de K
Mg	84	3,38	Calpac Dolomix
S	43	1,72	Calpac Dolomix,
Ca	42	1,69	Calpac Dolomix
B	1	0,04	Bórax

Fuente: El autor, 2024.

Tabla 17. Fertilizantes en las diferentes etapas fenológicas recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2RC

Días	Fertilizante	Kg parcelas ⁻¹	Plantas	g planta ⁻¹	Kg ha ⁻¹
0	Rafos	9,9	1980	5,0	125,0
	Muriato de K	5,8	1980	2,9	73,2
	Superfosfato triple	11,1	1980	5,6	139,5
	Bórax	0,7	1980	0,4	9,1
40	Rafos	23,5	1980	11,9	296,5
	Nitrato de K	6,3	1980	3,2	80,1
	Muriato de K	5,3	1980	2,7	66,5
60	Rafos	23,4	1980	11,8	295,9
	Nitrato de K	6,2	1980	3,1	77,7
	Muriato de K	5,6	1980	2,8	70,6
70	Nitrato de K	27,0	1980	13,6	340,7

Tabla 18. Plan de fraccionamiento de aplicación de los fertilizantes de la unidad P2RC

Etapa	Inicio	Desarrollo vegetativo	Inicio de tuberización	Tuberización
Días	0	40	60	70
Elemento			kg ha ⁻¹	
N	15,00	46,00	46,00	46,00
P	41,00	31,00	31,00	
K	46,70	91,25	92,20	73,53
B	1,00			

Perfil P2EC

El pH del suelo de la unidad de suelo P2EC del sector la Dolorosa es de 5 ácido; es decir no se encuentra en un rango ideal para el cultivo de la papa. En la Tabla 19 se indica el cálculo de la CICE del suelo, donde se usó la relación de 1 cmol kg⁻¹ de Aluminio para 1 cmol kg⁻¹ calcio, para neutralizar el aluminio intercambiable.

Tabla 19. CICE del suelo de la unidad P2EC

B. intercambiables	Cmol kg ⁻¹	Cmol kg ⁻¹	Total
Ca ⁺⁺	14,21	1,02	15,23
Mg ⁺⁺	2,31	0,40	2,71
K ⁺⁺	0,64	0,10	0,74
Na ⁺⁺⁺	0,30		0,3
Al ⁺⁺⁺	1,02		
CICE 1	18,48	CICE 2	18,98

CICE: Capacidad Intercambio de Cationes Efectivo

La CICE es de 18,48 cmol kg⁻¹ el Ca⁺⁺ de 14,21, Mg⁺⁺ de 2,31, K⁺⁺ 0,64 y Al⁺⁺⁺ 1,02 para mejorar el pH y la relación de cationes se aplicó 1941 kg ha⁻¹ Calpac Dolomix y mediante las fertilizantes YaraMila se suplementa 0,10 cmol kg⁻¹ de K, dando una nueva CICE un total de 18,98 cmol kg⁻¹. En la Tabla 20 se calculó la relación de cationes en el rango adecuado.

Tabla 20. Enmienda y Relación de Cationes para el suelo de la unidad P2EC

SB	Enmienda				Relación de cationes			
	Antes (%)	Después (%)	R. óptimo (%)		Antes cmol kg ⁻¹	Agregar	Después cmol kg ⁻¹	R. óptimo cmol kg ⁻¹
Ca	76,89	80,25	60-70	Ca Mg ⁻¹	6,15	Ca-Mg	5,62	2-5
Mg	12,50	14,27	10-20	Mg K ⁻¹	3,61	Mg-K	3,66	2,5-10
K	3,46	3,90	2-5	(Ca+Mg) K ⁻¹	25,81	Ca-Mg	24,24	10-40

Fuente: El autor, 2024.

Para satisfacer los requerimientos del cultivo de papa en la unidad de suelo P2EC, se aplicará la siguiente dosis y fertilizantes indicados en la Tabla 21.

Tabla 21. Fertilizantes recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2EC

Fertilizante	Kg ha ⁻¹	G planta ⁻¹	Fuente
N	148	5,5	Rafos, Nitrato de Potasio
P	72	2,19	Rafos, Superfosfato Triple
K	221	12,63	Rafos, Muriato de K, Nitrato de K
Mg	94	2,13	Calpac Dolomix
S	46	1,38	Calpac Dolomix
Ca	46	1,05	Calpac Dolomix
B	1	0,04	Bórax

Fuente: El autor, 2024.

Tabla 22. Fertilizantes en las diferentes etapas fenológicas recomendados para el cultivo de papa en el suelo de la unidad P2EC

Días	Fertilizante	kg/parcelas	Plantas	g/planta	Kg ha ⁻¹
0	Rafos	8,4	1575	5,3	133,3
	Muriato de K	3,0	1575	1,9	48,0
	Superfosfato triple	4,7	1575	3,0	75,2
	Bórax	0,6	1575	0,4	9,1
40	Rafos	13,2	1575	8,4	210,0
	Nitrato de K	8,8	1575	5,6	139,2
60	Rafos	12,6	1575	8,0	200,5
	Nitrato de K	9,3	1575	5,9	147,7
70	Nitrato de K	20,5	1575	13,0	325,9

Tabla 23. Plan de fraccionamiento de aplicación de los fertilizantes de la unidad P2EC

Etapa	Inicio	Desarrollo vegetativo	Inicio de tuberización	Tuberización
Días	0	40	60	70
Elemento				
N	16,00	44,00	44,00	44,00
P	29,00	22,00	21,00	
K	35,76	64,73	67,30	53,43
B	1,00			

7. Discusión

Condiciones físicas de los suelos

Al evaluar las condiciones físicas, en el primer horizonte con una pendiente 0-8% se encuentra en el rango de media a buena, de 8-25% y de 25-58% de muy pobre a medio. En el segundo horizonte las condiciones físicas en todos los perfiles van de pobre a media. Datos que son corroborados con Soto (2022) en el sector la Dolorosa del sistema de Riego Aguarongo-Zañe, quien evaluó las condiciones físicas para el primer horizonte en el rango de pendiente de 8-25% y 25-58%, que encuentro de muy pobre a medio y en el segundo horizonte de muy pobre a pobre.

El agua aprovechable en los perfiles de suelo de pendientes de 0-8%, 8-25% y 25-58% a pF 2,0 en los dos horizontes se encuentra alto y muy alto debido a que el AA está en función de la textura franco arcillosa, posiblemente con predominio de arcillas del grupo de las esmectitas, las cuales tienen una elevada capacidad de retención de agua (Valarezo, 2017; Soto, 2022) y su contenido medio de materia orgánica.

La capacidad de aireación en los perfiles de suelo 0-8%, 8-25% y 25-58% se encuentra en el rango medio y alto. En el segundo horizonte oscilan entre medio y bajo. Sin embargo, en el primer horizonte del perfil P2RC (pendiente: 8-25%) la capacidad de aireación se encuentra en un rango muy bajo debido a su textura arcilloso que mediante el sobrepastoreo ha generado compactación.

En los primeros horizontes en pendientes de 0-8%, 8-25% y 25-58% existe una aceptable capacidad de aireación en vista de que se remueve el suelo antes de iniciar las labores de siembra de cultivos, mediante prácticas de arado con bovinos o herramientas como lampas y la aplicación de materia orgánica por medio de abonos como la gallinaza, mientras que en la segunda capa sufre compactación producto de la labranza, baja materia orgánica y su textura arcillosa (Inostroza y Méndez, 2009). Soto (2022), corrobora en su evaluación la física del sector de la Dolorosa que la capacidad de aireación en el primer horizonte es aceptable para el uso maíz debido a que antes de iniciar las labores de siembra se remueve el suelo mientras que en la segunda capa sufre de compactación producto de la labranza.

Tendencia similar fue encontrada por Flores *et al.* (2011) en su estudio al evaluar el efecto de diferentes usos de tierra en la subcuenca “Callecitas” en el Estado Guárico, para el primer horizonte en el caso de hortalizas, maíz, encontró valores altos de capacidad de aireación debido a que son sometidos a prácticas de arado con buey o escardilla, la presencia de poros no capilares (> 30 μm de diámetro) son de alto a muy alto, en el segundo horizonte, el uso maíz

presenta los valores más bajos de macroporosidad, lo que pudiese sugerir una posible capa compactada a partir de los 20 cm de profundidad, mientras en el uso pasto presenta valores bajos en las capas estudiadas debido a la compactación por el sobrepastoreo.

En el perfil de Suelo P2RC con uso de pasto los resultados son coincidentes con aquellos reportados por Valarezo *et al.*(1998) citado por Valarezo *et al.* (2020) quienes evaluaron la condición física del suelo de la Serie Santiago, en un terreno cubierto de pasto a una altitud de 2 280 m s.n.m. y de 60% de pendiente, habiendo encontrado que en el horizonte Ap la capacidad de aireación fue muy baja (3,9%); mientras que el valor del agua aprovechable fue alta (15,2 %), ubicándose en la condición física del suelo muy pobre para el crecimiento de las plantas.

Los resultados de las condiciones físicas en las tres unidades de suelo, se encuentran en los mismos rangos del intervalo manifestado por Valarezo *et al.* (1998) para suelos de clase textural franco arcilloso (FoAc), en las características físicas de los suelos de la Región Sur de Ecuador.

Las velocidades de infiltraciones básica se encuentran en un rango de rápida a moderadamente rápida, para los perfiles en pendiente de 0-8 % (P1ZA, P2ZA, P3ZA) con usos de suelo de alfalfa y barbecho y en la pendiente de 25-58% (P1EC y P2EC) con uso de suelo de papa y maíz respectivamente. Los perfiles de pendiente 8-25% (P1RC y P2RC) con usos de suelo de pasto se ubican de moderadamente lenta y lenta. Excepto el perfil P3RC con uso de suelo de cultivo de maíz, la velocidad de infiltración se encuentra en un rango medio. Soto (2022), concuerda que la velocidad de infiltración en el sector la Dolorosa del sistema de Riego Aguarongo-Zañe en el uso maíz es 2,77 cm h⁻¹ calificado como media y en el uso pasto es 0,82 cm h⁻¹ equivalente a moderadamente lenta.

Valarezo *et al.* (2020) evidenciaron que la infiltración básica en el uso de hortalizas (1,76 cm h⁻¹) es significativamente diferente al uso de pasto (0,24 cm h⁻¹). Por lo que la disminución de la infiltración en el suelo con uso de pasto es producto del sobrepastoreo del ganado bovino que produce la compactación del suelo dificultando el ingreso del agua al suelo (Leyva *et al.*, 2018).

Condiciones químicas de los suelos

El contenido de materia orgánica oscila en un rango de 3,5 - 4,6 % en los suelos valores en un rango medio, Molina (2013), corrobora que valores medios de MO se encuentran del 2 al 5 %.

En las unidades de suelo P2ZA, P2RC, P2EC presentan valores de CICE de 12,88, 14,45 y 18,48 cmol kg^{-1} respectivamente, que según Guerrero (1993) citado en (Rincón, 2012) corresponden a un rango medio.

La suma de bases presenta un valor de media de 11,04, 12,62 en las unidades de suelo P2ZA y P2RC respectivamente, y la unidad P2EC se encuentra en un rango alto 17,46 cmol kg^{-1} , Méndez y Meier (2019) menciona la suma de bases óptimas para el cultivo de papa mayores a 10 cmol kg^{-1} .

La acidez intercambiable en las unidades de estudio (P1ZA: 2,86; P1RC: 3,10; P2RC:1,55 cmol.kg^{-1}) indican que el contenido de $\text{Al}^{+3}+\text{H}$ es tóxico, así mismo Espinosa y Molina (1999), menciona que contenidos en el suelo mayores que 0,5 cmol kg^{-1} podrían ser problemático para los cultivos. Molina y Meléndez (2002), indica que el valor óptimo de acidez intercambiable debería ser inferior a 0,3 cmol kg^{-1} .

El pH de las tres unidades de suelo es: muy ácido a ácido (P1ZA: 4,8; P1RC:4,6; P2RC:5), estos resultados según Mansilla y Arribillaga (2013) no es adecuado para la papa, el rango es de 5,5 a 6,5. Según Hirzel (2011) citado por Méndez y Meier (2019), manifiestan el rango óptimo de pH entre 5,6 a 6,8 para texturas franco-arcillosas.

Plan de enmiendas

Para los niveles bajos de pH y con el fin de asegurar una buena disponibilidad de nutrientes mediante su incremento y neutralizando de los iones hidrógeno y la disminución de la toxicidad del aluminio (Espinosa y Molina,1999; Vázquez y Millán, 2017), a más del incremento de la CIC que permite una mejor retención de cationes (Espinosa *et al.*, 2022), se plantea utilizar la enmienda Calpac Dolomix que contiene un 36% de CaO , 10 % de MgO y 26% de SO_4 resultando ser una enmienda ideal para encalar los suelos.

Por lo tanto, se aplicará una relación de 1 meq de Al por cada 0,75 a 1 meq de Ca, equivalente a 527; 844; 499 kg ha^{-1} de Ca en las unidades P2ZA, P2RC Y P2EC respectivamente con dosis de Calpac Dolomix de 3360, 3279 y 1941 kg ha^{-1} . Villamagua y Livisaca (2023), en sus estudios de Control de la Acidez en los Sectores La Dolorosa y San Antonio de la Parroquia Chuquiribamba demostraron que la aplicación de Calpac Dolomix como enmienda en una dosis de 2500 kg ha^{-1} aumento significativamente el pH y el rendimiento en un 40% del cultivo de papa.

Una adecuada relación de cationes es fundamental para asegurar una buena nutrición del cultivo, la relación catiónica es flexible, sin embargo, cuanto mayor es el desequilibrio, más síntomas de deficiencias presenta por el exceso de un catión que impide la absorción de otro

por el cultivo, afectando el rendimiento (Caicedo *et al.*, 2018). Para mejorar la proporción de cationes la unidad de suelo P2ZA se aumentó 1,64 meq/100g de Ca y 0,8 meq/100g de Mg, en unidad P2RC se aumentó 1,83 meq/100g de Ca, 0,54 meq/100g de Mg y 0,12 meq/100g de K y finalmente en la unidad P2EC se aumentó 1,02 meq/100g de Ca, 0,4 meq/100g de Mg y 0,10 meq/100g de K.

Plan de fertilización para el cultivo de papa nativa

La aplicación de nutrientes en las tres unidades de suelo va de un rango de 134 a 153 kg ha⁻¹ de N, 43 a 103 kg ha⁻¹ de P, 221 a 307 kg ha⁻¹ de K, 25 a 45 kg ha⁻¹ de Ca, 50 a 94 kg ha⁻¹ de Mg, 38 a 46 kg ha⁻¹ de S y 1 kg ha⁻¹ B.

Vignola *et al.*, (2017) manifiestan que la fertilización de la papa es fundamental en los primeros meses del ciclo, requiere análisis de suelo, tiene que ser equilibrada y está determinada dependiendo de la zona, las condiciones edafoclimáticas y requerimientos del cultivo.

El plan de fertilización fue planificado para cuatro etapas fenológicas, según las curvas de absorción del cultivo para ser aplicada cuando la planta lo necesite (Bertsch, 2003), alcanzando una mejor rendimiento y calidad de los tubérculos en papa (Arteaga *et al.*, 2022) y disminuir pérdidas por fijación, lixiviación o volatilización de fertilizantes. Monsalve *et al.* (2020) corrobora el efecto que tiene la aplicación fraccionada de fertilizantes sobre el cultivo de papa criolla y el suelo resultando en un impacto positivo en el rendimiento y en el medio ambiente en un estudio. De manera similar Añez y Espinosa (2006) encontraron que los rendimientos de tubérculos de papa fueron mayores con tratamientos que utilizaron aplicaciones divididas de N y K.

Sin embargo, Pérez *et al.* (2008) evaluaron el efecto del fraccionamiento de la fertilización edáfica con nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y la aplicación de boro, manganeso y zinc, sobre el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de tubérculo en la variedad de papa Criolla resultando la fertilización sin fraccionamiento de N-P-K-Mg, un mejor desarrollo foliar y un mayor potencial de rendimiento.

El cultivo de papa posee una alta demanda de nutrientes en comparación a otros cultivos de ciclo corto (Gómez *et al.*, 2017), debido a la baja densidad radical (1,7 cm.cm⁻³) que limita la absorción de nutrientes y un ciclo de desarrollo corto (90-160 días) (Méndez y Meier, 2019), por la que la necesidad de fertilizar obedece a una demanda de nutrientes minerales generada por el cultivo, debido a un bajo suministro de éstos desde el suelo (Inostroza *et al.*, 2017).

Bertsch (2009), estima que una tonelada de papa absorbe 6, 0,8 y 9 kg t⁻¹ de N-P-K, respectivamente, para un rendimiento de 25 t ha⁻¹ la dosis a aplicar en total para cada elemento sería aproximadamente 270, 130, 385 kg ha⁻¹ de N-P-K en términos de fertilizante lo que demuestra el alto requerimiento nutrimental (Wong, 2013).

Según Kramm (2017), el potasio es extraído en mayor cantidad por la papa, con 145 a 328 kg ha⁻¹, luego sigue el nitrógeno con 108 a 288 kg ha⁻¹ y finalmente el fósforo con 18 a 55 kg ha⁻¹ para expresar su potencial de rendimiento. La alta demanda de adsorción del K se debe a que es esencial para la translocación de azúcares y la síntesis de almidón (Reis y Fontes, 1996) jugando un papel importante en el desarrollo y llenado de frutos (Nava *et al.*, 2007).

Inostroza *et al.* (2017) coinciden que la extracción de nitrógeno está entre 100 a 290 kg ha⁻¹, para el fósforo de 20 a 65 kg ha⁻¹ y de potasio 150 a 480 kg ha⁻¹ para rendimientos entre 20 a 60 t ha⁻¹.

En las unidades de suelo en el contenido micronutrientes se encontró deficiencias en Boro con un contenido bajo de (0,19 a 0,24 ppm). Kirkby y Romheld (2008), señala que la deficiencia de micronutrientes conlleva a desórdenes fisiológicos que afecta la producción de los cultivos, ya que la mayoría cumplen funciones relacionadas al crecimiento, desarrollo y producción de cultivos.

Pérez *et al.* (2008) mencionan que el boro es el micronutriente más importante para obtener altos rendimientos en los cultivos de papa que en etapas tempranas puede favorecer la absorción de fósforo y potasio y por consiguiente un buen crecimiento del cultivo. La aplicación de 1 kg ha⁻¹ de boro aplicado al suelo al momento de la siembra en forma granular o en solución es suficiente para corregir deficiencias en los suelos cuyo contenido sea inferior a 0,6 ppm (Barrera, 1996).

8. Conclusiones

- Las condiciones físicas del suelo en el primer horizonte en el rango de pendientes de 0-8% se encuentra en la condición de media a buena, de 8-25% se ubican en rango de muy pobre a media y en la pendiente de 25-58% en el rango pobre a medio. En el segundo horizonte las condiciones físicas en todos los perfiles van de pobre a media.
- Las unidades de suelo en los rangos de pendiente de 0-8%, 8-25%, y 25-58% tienen las siguientes características: pH ácido a muy ácido, CIC bajo, la MO media, porcentaje de saturación de bases alta a muy alta y un déficit en nutrientes de N, y Boro.
- Para incrementar el pH del suelo y neutralizar el Al^{+++} en la unidad 0-8% (P2ZA) se aplicó una relación de: por cada 1 meq de Al por, 1 meq de Ca, dando una dosis de Calpac Dolomix de 3360 kg ha^{-1} y una propuesta de aplicación de nutrientes de: N: 134; P: 44; K:308 y B:1 kg ha^{-1} .
- En la unidad 8-25% (P2RC) se aplicó una relación de 1 meq de Al por cada 0,75 meq de Ca, dando una dosis de Calpac Dolomix de 3279 kg ha^{-1} y una propuesta de aplicación de nutrientes de: N: 153; P: 103; K:303 y B:1 kg ha^{-1} .
- Finalmente, en la unidad 25-58% (P2EC) se aplicó una relación de 1 meq de Al por cada 1 meq de Ca, dando una dosis de Calpac Dolomix de 1941 kg ha^{-1} con una propuesta de aplicación de nutrientes de: N:148; P: 72; K:221 y B:1 kg ha^{-1} .

9. Recomendaciones

- Establecer compromisos bien definidos entre el Proyecto de Investigación y los usuarios del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe con la finalidad de tener total apoyo del agricultor.
- Se sugiere elaborar curvas de absorción del cultivo de la papa en la región sur de la Sierra del Ecuador para mejorar los planes de fertilización con condiciones propias del lugar.
- Finalmente se recomienda realizar investigaciones de fertilización en el cultivo de la papa en el Sur de la Sierra del Ecuador por falta de información disponible.

10. Bibliografía

- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, 3(5), 55-60.
- Alonso, F. (2010). *Propiedades físicas: Densidad y porosidad*. Documento interno, Departamento Geología.
- Álvarez-Hernández O. H. (2020). Potencial agroclimático para la utilización del riego en la parroquia Chuquiribamba, Loja, Ecuador. *Revista Cubana De Meteorología*, 26(3). Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/519>
- Alvear, J., Valarezo, C., & Valarezo, L. (1999). Manejo del agua en la cuenca y en la parcela.
- Áñez, B. y W. Espinoza. 2006. Respuesta de la papa a la aplicación fraccionada de nitrógeno y potasio. *Agrícola Andina*.
- Araujo, M., Cartagena, Y., Castillo, C., Cuesta, H., Monteros, J., Paula, N., Racines, M., Rivadeneira, J., Velásquez, J., León, J., Panchi, N., Andrade, J. 2021. Manual del cultivo de papa para pequeños productores. Manual No. 78, 3ra. Edición. INIAP. Mejía-Ecuador. 120p
- Arteaga Chamorro, G. A., Ortiz Calle, R. S., & Cartagena Ayala, Y. E. (2022). Dinámica de la absorción de nutrimentos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Superchola, para la producción de semilla prebásica. *Siembra*, 9(2).
- Ávila, M. E., Montesdeoca, F., Orellana, M., Pacheco, K., Alvarado, S., Becerra, N., Marín, C., Borie, F., Aguilera, P., y Cornejo, P. (2020). Soil biological properties and arbuscular mycorrhizal fungal communities of representative crops established in the Andean region from Ecuadorian highlands. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20(4), 2156-2163. Recuperado de: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00283-1>
- Barrera, L. (1996). El boro: un micronutriente importante en el cultivo de la papa en suelos de Cundinamarca y Boyacá. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/32470>.
- Barrezueta, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155-166. Recuperado de 2020. <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1210>
- Bautista Carrascosa, M. I. (2022). Relación entre la consistencia y la humedad del suelo. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/185001/Bautista%20->

%20Relacion%20entre%20la%20consistencia%20y%20la%20humedad%20del%20suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Beretta, A., Silbermann, A., Paladino, L., Torres, D., Bassahun, D., Musselli, R., García-Lamohte, A. (2014). Análisis de textura del suelo con hidrómetro: modificaciones al método de Bouyoucus. *Ciencia e investigación agraria*,41(2), 263-271
- Bertsch, F. (2009). Raíces, tubérculos y Cormos. En F. Bertsch Hernández, *Absorción de nutrimentos por los cultivos* (pág. 184). San José de Costa Rica.
- Bertsch, F. 2003. *Absorción de nutrimentos por los cultivos*. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica. 307p
- Cadena, H. (2016). *Hablemos de riego* (Segunda ed.). Quito, Ecuador: El Telégrafo EP.
- Caicedo, C., Buitrón, L., Díaz, A., Velástegui, F., Yáñez, C., & Cuasapaz, P. (2018). Primer Congreso Internacional Alternativas Tecnológicas para la Producción Agropecuaria Sostenible en la Amazonía Ecuatoriana (Primera). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5461/1/doc3.pdf>
- Calvache. (2009). Manejo del agua de riego en zonas de ladera. *Eídos*, (2), 32-29.
- Carrasco., J y Riquelme., J. (2010). Manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales.28p- Boletín INIA N° 207- Instituto de Investigaciones Agropecuarias, CRI Rayentué, Rengo, Chile.Recuperado de: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582019000200155&lang=es
- Castellón, J., Bernal, R., & Hernández D. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*.
- Chamba, M. (2021). Caracterización agrosocioeconómica y biofísica del área de influencia del sistema de riego Aguarongo – Zañe (Loja – Ecuador). *CEDAMAZ*, 11(2), 87–92. Recuperado de: <https://doi.org/10.54753/cedamaz.v11i2.1175>
- Chavarria, G., y Pessoa dos Santos, H. (2012). *Plant Water Relations: Absorption, Transport and Control Mechanisms*. <http://www.intechopen.com/books/advances-in-selected-plantphysiology-aspects/plant-waterrelations-absorption-transport-and-control-mechanis>
- Ciampitti., I y Garcia., F. (2008). Balance y eficiencia de uso de los nutrimentos en sistemas agrícolas. *Revista Horizonte* (Argentina). Recuperado de:

[http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/53b43dad9c126e27032579050071b657/\\$FILE/Ciampitti%20y%20Garcia%20-%20Balances%20y%20Eficiencia%20Nutrientes%202007.pdf](http://lacs.ipni.net/ipniweb/region/lacs.nsf/e0f085ed5f091b1b852579000057902e/53b43dad9c126e27032579050071b657/$FILE/Ciampitti%20y%20Garcia%20-%20Balances%20y%20Eficiencia%20Nutrientes%202007.pdf)

- Cuesta X., Monteros, C., Racines M. y Rivadeneira, J. (2022). Catálogo de variedades de papa.
- Delgadillo, O., y Pérez, L. (2016). Medición de la infiltración del agua en el suelo. Centro andino para la gestión y uso del agua. Centro agua. Facultad deficiencias agrícolas, pecuarias y forestales universidad mayor de san simón. Cochabamba, Bolivia.
- Domínguez Soto, J., Román Gutiérrez, A., Prieto García, F., Acevedo Sandoval, O. (2012). Sistema de Notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*,3(1), 141-155
- Easton, Z., y Bock, E. (2016). Soil and Soil Water Relationships. https://ext.vt.edu/content/dam/ext_vt_edu/topics/agriculture/water/documents/Soil-and-Soil-Water-Relationships.pdf
- Echeverria, H. E. 2005. Papa. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. En: Echeverria, H. E.; y Garcia, F.O (eds.). Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires. Argentina
- Espinosa, J., & Molina, E. (1999). Acides y encalado de los suelos. International Plant Nutrition Institute. Casillas 17-17-980. Quito–Ecuador.
- Espinosa, J., Mite, F., Alvarado Ochoa, S., & Moreno Izquierdo, J. (2022). *Suelos Ecuador—Características, Uso y Manejo* (pp. 325-386).
- FAO - Food and Agriculture Organization. 2021. FAOSTAT Statistics Database. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- FAO. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas*. 33.
- Flores, H., Sifuentes, E., Flores H., Ojeda, W., & Ramos, C. R. (2014). Técnicas de conservación del agua en riego por gravedad a nivel parcelario. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(2), 241-252.
- García, L. (2017). Metodologías de campo para determinar profundidad, densidad aparente, materia orgánica, infiltración del agua, textura y pH en el suelo. *Grupo SEVEN Nicaragua*, 1(1), 9-10.

- Ghisolfi, E. (2011). Contenidos de materia orgánica. Relación con la fertilidad del suelo en siembra directa. Primera Edición. Argentina.
- Gisbert, J. M., Ibañez, S., & Moreno, H. (2010). La consistencia del suelo. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7774/consistencia.pdf>
- Gisbert, J., Ibañez, S.; Moreno, H. (2009). La textura de un suelo. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Valencia, España. Gutiérrez-Elorza, M. (2008). Geomorfología. Pearson Educación, S.A. Madrid, España, 8
- Gobierno Provincial de Loja. (2018). Estudios de suelos, aguas, clima y topográfico, realizados por la Dirección de Riego. Proyecto: “Rehabilitación de las redes de distribución del sistema de riego Aguarongo-Zañe.
- Gómez, M.I., Magnitskiy, S., Rodríguez, L.E., Darghan, A.E., 2017. Accumulation of N , P , and K in the tubers of potato (*Solanum tuberosum* L . ssp . andigena) under contrasting soils of the Andean region of Colombia Acumulación de N , P y K en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* ssp . 35, 59–67. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n1.61068>
- Guerrero L., J. M. (2019). Determinación de la capacidad de intercambio catiónico por el método del formaldehído.
- Hernández, L. (2021). Plan de fertilización del área agrícola, unidad de experimentación y validación el plantel, 2021 [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria]. Repositorio institucional-UNA
- Horneck, D. and Rosen, C. (2008). “Measuring nutrients accumulation rates of potatoes too for better management”. 92:1-4.
- Inostroza F. y Méndez L. (2009). Preparación de suelo . Temuco: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 193. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7283>.
- Inostroza, J., Méndez, P., Espinoza, N. y Kramm, V. (2017). Manual del cultivo de la papa en Chile.
- INTAGRI. (2015). La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo. Serie Suelos. Núm. 09. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 investigaciones Agropecuarias. 28 p
- Iñiguez. M. (2007). Fertilidad. Fertilizantes y fertilización del suelo. Loja: Universidad Nacional de Loja.

- Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín. Colombia.
- Jáuregui, M. de L. F., Menez, M. R. M., Solorio, C. A. O., & Reynoso, D. S. F. (2018). Influencia de los factores formadores en las propiedades de los suelos en la Mixteca, Oaxaca, México. *Revista terralatioamericana*, 36(3). <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.259>
- Jimenez, F. (2017). La importancia de la nutrición con magnesio y azufre en el cultivo de la papa. Recuperado de: [Www.ipni.net](http://www.ipni.net). <http://www.ipni.net/publication/ia-lacs.nsf/0/2D071476E9B2B1B80325815D00646E09/>
- Jordán, A. (2010). *Manual de Edafología*. Sevilla: Universidad de Sevilla. Departamento de cristalografía, mineralogía y química agrícola.: Recuperado de: <http://libnet.unse.edu.ar/1bi/ba/cefaya/cdig/000005.pd>
- Julca, A., Meneses., L, Blas., Raúl, y Bello., S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49-61. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Kirkby, E. y Romheld, V. (2008). Micronutrientes en la fisiología de las plantas: Funciones, absorción y movilidad (Primera parte). *Informaciones Agronómicas*.
- Kramm, V. (2017). *Manual del cultivo de la papa en Chile*. Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Recuperado de <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6706>
- la región sur del Ecuador. Loja: Gráficas Cosmos
- Lanfranco, J., Pellegrini, A. y Cattani, V. (2014). *Contenidos de Edafología. Génesis, evolución y propiedades fisico-químicas del suelo*. Universidad Nacional de La Plata. Argentina.
- Leyva, S., Baldoquin, A., y Reyes, M. (2018). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba. *Rev. Cienc. Agr.* 35(1):36-47. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.183501.81>.
- López, A. (2007). *Manual de Edafología*. Sevilla. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- Mansilla, M Arribillaga, D., 2013. Boletín N° 272. Antecedentes Técnicos para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L), en la Región de Aysén. Julio 2013. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA Tamel Aike. Coyhaique, Chile. 88 p

- Martínez, I y Acuña, I. (2021). Aplicación de calcio durante la tuberización incrementa el rendimiento en el cultivo de la papa. Inia.Chile. Recuperado de: <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68301/NR42685.pdf?sequence=4&isAllowed=y#:~:text=El%20calcio%20es%20un%20macronutriente,su%20transpiraci%C3%B3n%20es%20casi%20nula>.
- Méndez, P., Meier S., (2019). Antecedentes sobre fertilización del cultivo de papa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6856/NR41999.pdf?sequence=10&isAllowed=y>
- Méndez Valdiviezo, E. (2016). Validación del método analítico walkley y black de materia orgánica en suelos arcillosos, francos y arenosos del Ecuador (Bachelor's thesis, Quito: UCE)
- Molina, J., Mairena-Santos, B., y Aguilar, L. (2004). Manejo integrado de plagas, cultivo de papa. INTA. Guía 1º edición. Managua. Recuperado de: <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10M722.pdf>.
- Molina, E. y Meléndez, G. 2002. Tabla de interpretación de análisis de suelos. Centro de Investigaciones Agronómicas, Universidad de Costa Rica. Mimeo.
- Monsalve, O. I., Espitia, E. M., & Bolaños-Benavides, M. M. (2020). Split fertilization as a strategy to reduce the amount of fertilizer applied in potato crops form Colombia. Case of study. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 14(2), 240-248. <https://doi.org/10.17584/rcch.2020v14i2.10523>
- Moreno, H., Gilbert, J., & Ibañez, S. (2010). El color del suelo. Valencia, España
- Nava, G., Dechen, A. y Luchi, V. 2007. Producción de tubérculos de semilla de papa dependiendo de la fertilización nitrógeno, fósforo y potasio. *Horticultura brasileña*. 25:365-370. <https://doi.org/10.1590/S0102-053620070003000>
- Navarro, G., & Navarro, S. (2003). Química agrícola: El suelo y los elementos químicos: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ediciones Mundi-Prensa.
- Navarro, G., y Navarro, S. (2013). Química Agrícola. Química del suelo y de los nutrientes esenciales para las plantas. Tercera Edición. Ediciones Mundi Prensa.
- Nieto C., Carlos, Pazmiño Ch, Erika, Rosero, Shubert, & Quishpe, Blanca. (2018). Estudio del aprovechamiento de agua de riego disponible por unidad de producción agropecuaria, con

base en el requerimiento hídrico de cultivos y el área regada, en dos localidades de la Sierra ecuatoriana. *Siembra*, 5(1), 51-70. Recuperado de: <https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.14277>

Novillo, I., Carrillo, M., Cargua, J., Moreira, V., Albán, K., & Morales, F. (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la Provincia de Los Ríos, Ecuador. *Los Ríos*. Recuperado: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5297/1/iniap%201301-3437-2-PB.pdf>

Osuna, E., Figueroa, B., Oleschko, K., Flores, M., Martínez, M., y González, F. (2006). Efecto de la estructura del suelo sobre el desarrollo radical del maíz con dos sistemas de labranza. *Agrociencia*, 40(1), 27-38.

Padilla, W. (2007). *Manejo de la química y fertilidad de los suelos* (4.a ed.)

Pauta, A. (2019). *Análisis de los sistemas productivos agrarios bajo riego, canal Aguarongo de la parroquia Chuquiribamba del cantón y provincia de Loja* [Tesis de grado, Facultad agropecuaria y de recursos naturales renovables, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional UNL.

Pérez, L., Rodríguez, L. y Gómez M. (2008). Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana*, 26(3). Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11487/12136>

Porta, J., López, M., y Poch, R. (2014). *Edafología. Uso y protección de suelos*. Tercera Edición. España: Mundi Prensa.

Porta, J; López-Acevedo, Marta; Roquero, Carlos. (2003). “Edafología para la agricultura y el medio ambiente”, Ed. Mundiprensa, 3ª edición, págs. 235.

Ramírez, R. (1997). *Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos*. Bogotá.

Recuperado de: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo> -

RELEASE. (2016). Informe de gestión correspondiente al año 2015. Recuperado de RELEASE website: <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/pdf/laboratorios/suelosfoliaresaguas/INFORME%20DE%20LA%20RE D%20NACIONAL%20DE%20LABOR>

ATORIOS%20DE%20SUELOS%20(RELASE)%20INFORME%20GESTI%C3%93N%
202015.pdf

- Rincon, A. (2012). Manejo de la nutrición mineral en sistemas ganaderos de los Llanos Orientales de Colombia. Corporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria - Corpoica. <https://doi.org/10.21930/978-958-740-115-8>
- Rivera, J. S. Ú., & Dallatorre, Y. D. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7), 889-896.
- Rivera, L., Goyal, M., y Crespo M. (2004). Métodos para medir la humedad del suelo. <https://es.slideshare.net/suelos09/met-p-medir-humedad-delsuelo>
- Rizo, D. (2015). Producción de papa con Buenas Prácticas Agrícolas. Riolto, Recuperado de: https://assets.riolto.org/paragraph/attachments/guia_papa_1.pdf
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay.
- Ruiz, L. (2018). Validación de métodos de ensayo para determinación de pH, conductividad, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y sólidos disueltos en aguas en el Laboratorio Ambiental Environovalab (Bachelor's thesis, Quito: UCE).
- Sánchez, J. (2007). Fertilidad del Suelo y Nutrición Mineral de Plantas. FERTITEC S.A. consultado septiembre 2017. Disponible en www.agronegociosperu.org.
- Sierra, H., Basurto, M., Robles, L., Pérez, R. y González, C. 2011. La relación agua-suelo en la agricultura. Chihuahua, México.
- Silva, C., Silva, H., Garrido, M., y Acevedo, E. (2015). Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos. Chile: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas.
- Sociedad Española de Productos Humicos. (2010). Cultivo de papa productos de SEPHU para mejorar el abonado, la protección del cultivo, el aumento de la producción y calidad de la papa, mantenimiento de la fertilidad de los suelos de cultivo. Recuperado de: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/048---01.06.10---Cultivo-de-Papa.pdf

- Soil Survey Staff. (2014). Keys to Soil Taxonomy, 12th Edition. USDA Natural Resources Conservation Service. USDA.
- Soriano, M. (2018). pH del suelo. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/102382/Soriano%20-%20pHdel%20suelo.pdf?sequence=1>
- Soto., R. (2022), Evaluación de las propiedades físicas de los suelos en el sistema de riego Aguarongo-Zañe de la parroquia Chuquiribamba [Tesis de grado, Facultad agropecuaria y de recursos naturales renovables, Universidad Nacional de Loja]. Repositorio institucional UNL.
- Valarezo, C. (2012). El suelo como recurso básico para el crecimiento de las plantas: Elementos sobre génesis, mineralogía, características físico-químicas y fertilidad. Loja: Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
- Valarezo, C., Ñíguez, M., Valarezo, L., y Guaya, P. (1998). Condiciones físicas de los suelos de de la región sur del Ecuador, Loja: Gráficas Cosmos
- Valarezo, L. (2017). Evaluación física de los suelos de la zona de riego La Dolorosa. Capacitación en el uso y manejo de los recursos suelo y agua a los usuarios del sistema de riego Aguarongo de la parroquia Chuquiribamba del cantón Loja. Proyecto de vinculación con la sociedad
- Valarezo, L., Valarezo, C., y Mancino, M. (2020). Producción agropecuaria sostenible en suelos arcillosos del piso temperado andino del sur del Ecuador. Loja, Ecuador: EDILOJA Cía. Ltda. ISBN-978-9978-355-63-3. Recuperado de <https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/202101/Produccio%CC%81n%20Agropecuaria%20Sostenible%20en%20Suelos%20Arcillosos%20del%20Piso%20Temperado%20Andino%20del%20Sur%20del%20Ecuador.pdf>
- Valipour, M. (2014). Soil Water Constants. Irrigation Engineering. Recuperado de: https://ecoursesonline-iasri-res-in.translate.goog/mod/page/view.php?id=124838&_x_tr_sch=http&_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es&_x_tr_pto=sc
- Valverde, F., y Alvarado Ochoa, S.P. (2009). Manejo del suelo y la fertilización en el cultivo de papa: Experiencias del DMSA. En Memorias del Curso de Producción, Procesamiento,

Comercialización y Control de Calidad en Semilla de Papa en el Ecuador. Quito, Ecuador: INIAP.

Vázquez, M. E., y Millán, G. J. (2017). Acidez del suelo. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., y Cañamero, M. (2017). Fundamentos de la Ingeniería Agrícola. Lima, Perú: Q&P Impresores S.R.L. Recuperado de <http://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/ingenieria-de-riegos.pdf>

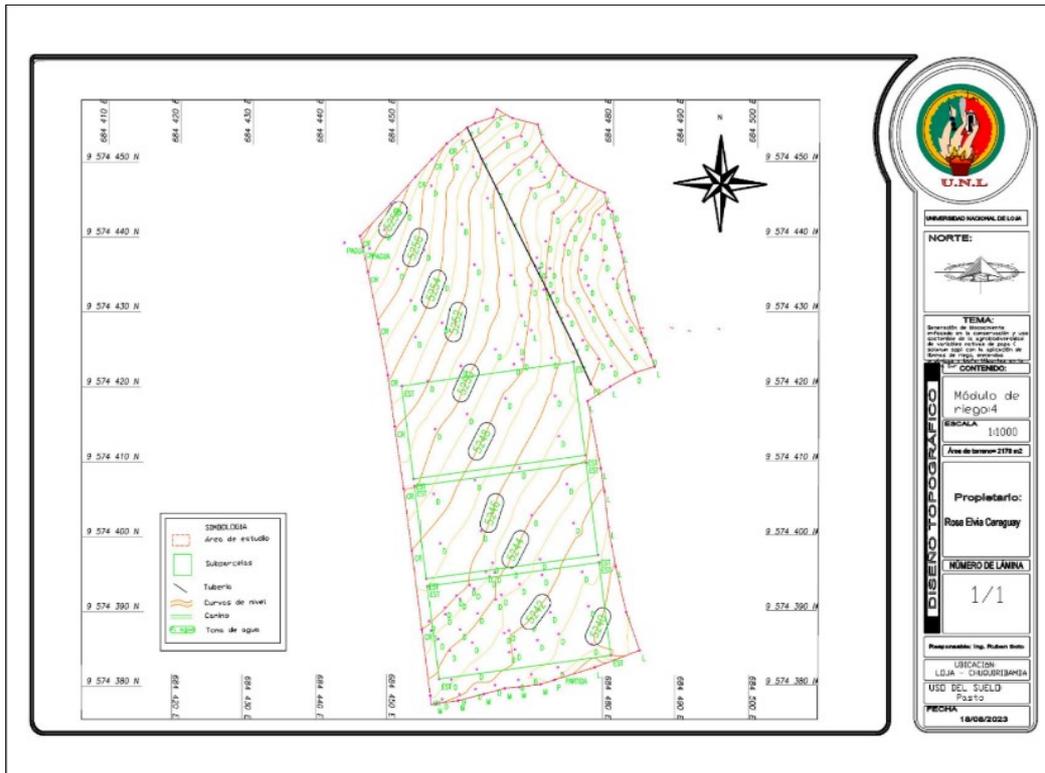
Vignola, R., Watler, W, Vargas, A, y Morales, M. (2017). Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de papa en Costa Rica. Costa Rica

Villamagua, M. y Livisaca (2023). Plan de fertilización/ Entrevistado por Erika Suquilanda. Oficinas de la Carrera de Ingeniera Agrícola de la Universidad Nacional de Loja

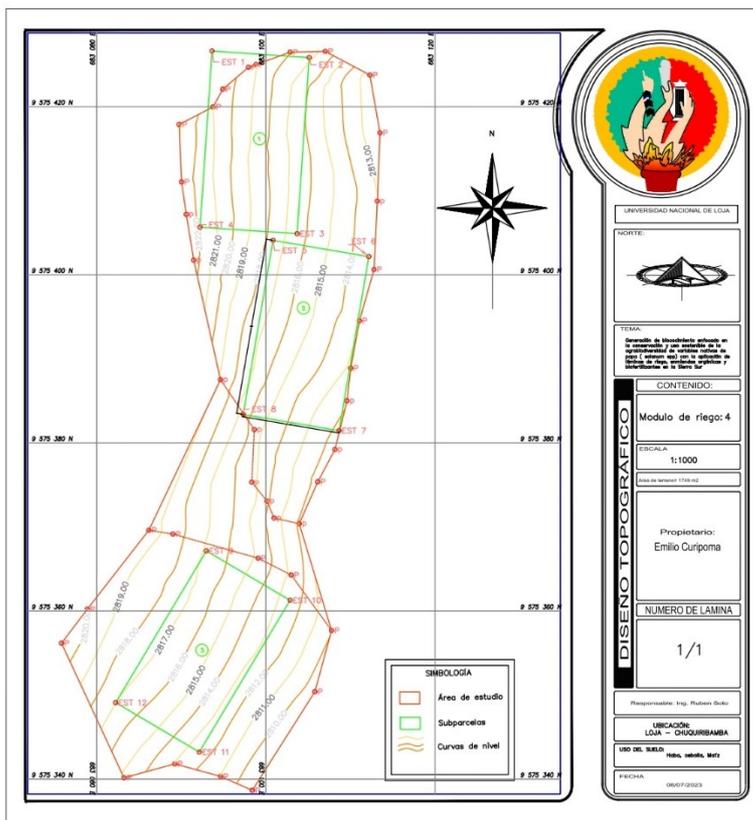
White, P. J.; Whcatley, R. E; Hammond, J. P and Zhang, K. 2007. Minerals, Soils and roots. In: Vreugdenhil, D. (ed.). Potato biology and biotechnology, advances and perspectives. Elsevier Amtersdan. 739-752 p.

Wong, L. 2013. Manual de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de la papa, para la zona norte de Cartago. San José, Costa Rica, UCR. 71 p.

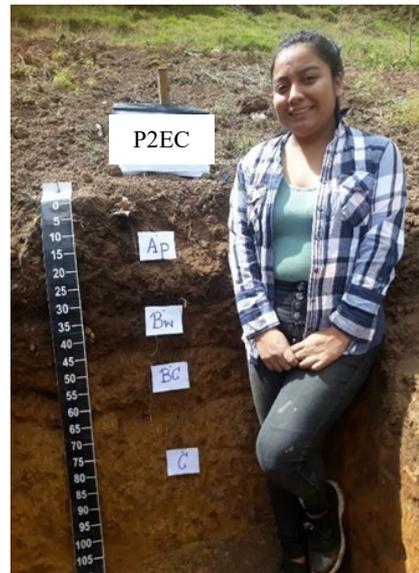
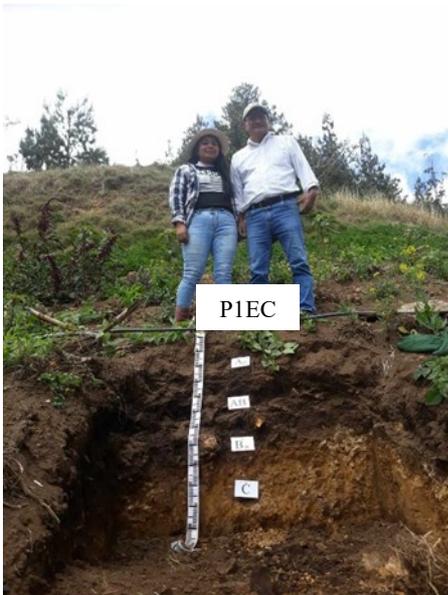
Propiedad de Rosa Caraguay:11- 12 %



Propiedad de Emilio Curipoma:35- 40%



Anexo 3. Descripción de los perfiles del suelo de la zona de estudio



Anexo 4. Análisis del material parental en la zona de estudio

En la pendiente de 8 -9 % en los Perfiles P1ZA, P2ZA y P3ZA con cobertura de pasto, cultivo de maíz y barbecho se encontraron andesitas, andesitas basálticas y tobas dacíticas.



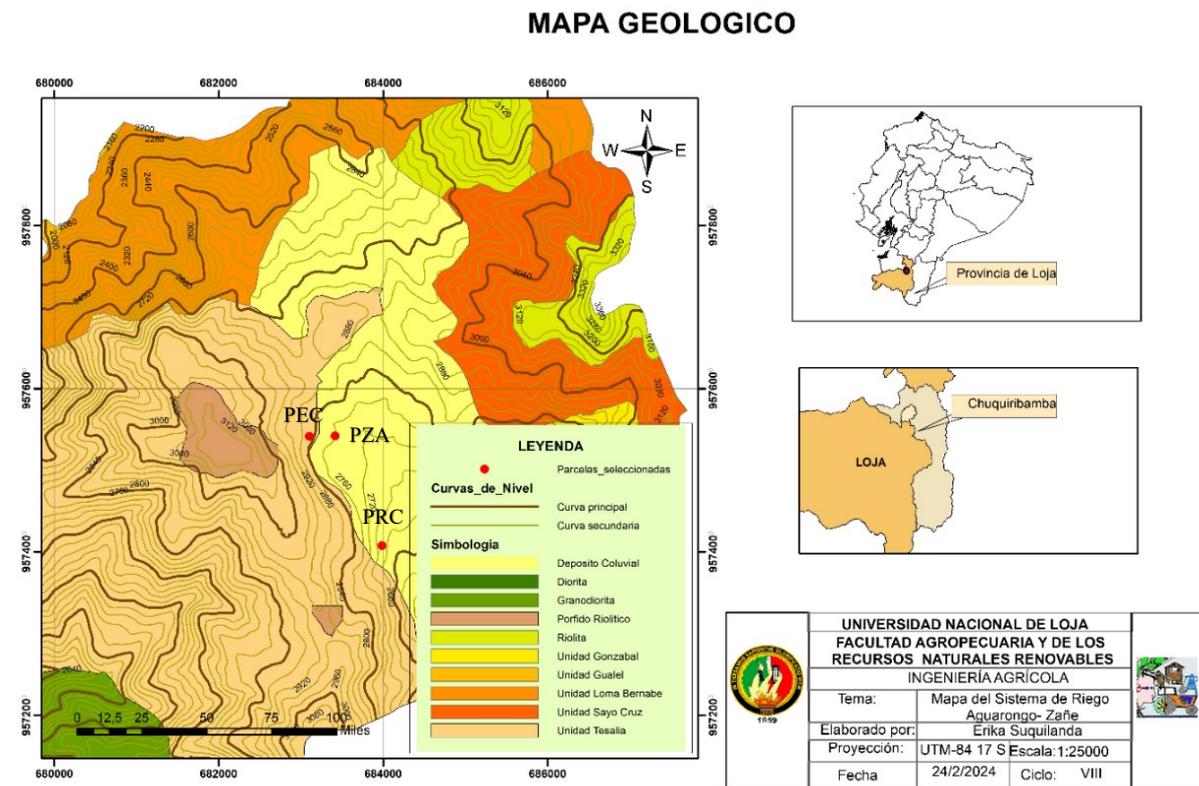
En la pendiente de 8-25 % en los Perfiles P1RC, P2RC y P3RC con cobertura de pasto y Barbecho se encontraron riolita alteradas, andesitas basálticas alteradas a color amarillento por óxido de hierro fisuradas por el tectonismo y basalto negro con recubrimiento de ceniza volcánica.



En los Perfiles P1EC y P2EC de pendiente mayor a 25 % con cobertura de cultivos de hortalizas se encontraron riolita alteradas a caolín y óxido de Fe y tobas andesitas basálticas.



Anexo 5. Mapa geológico de la zona de estudio



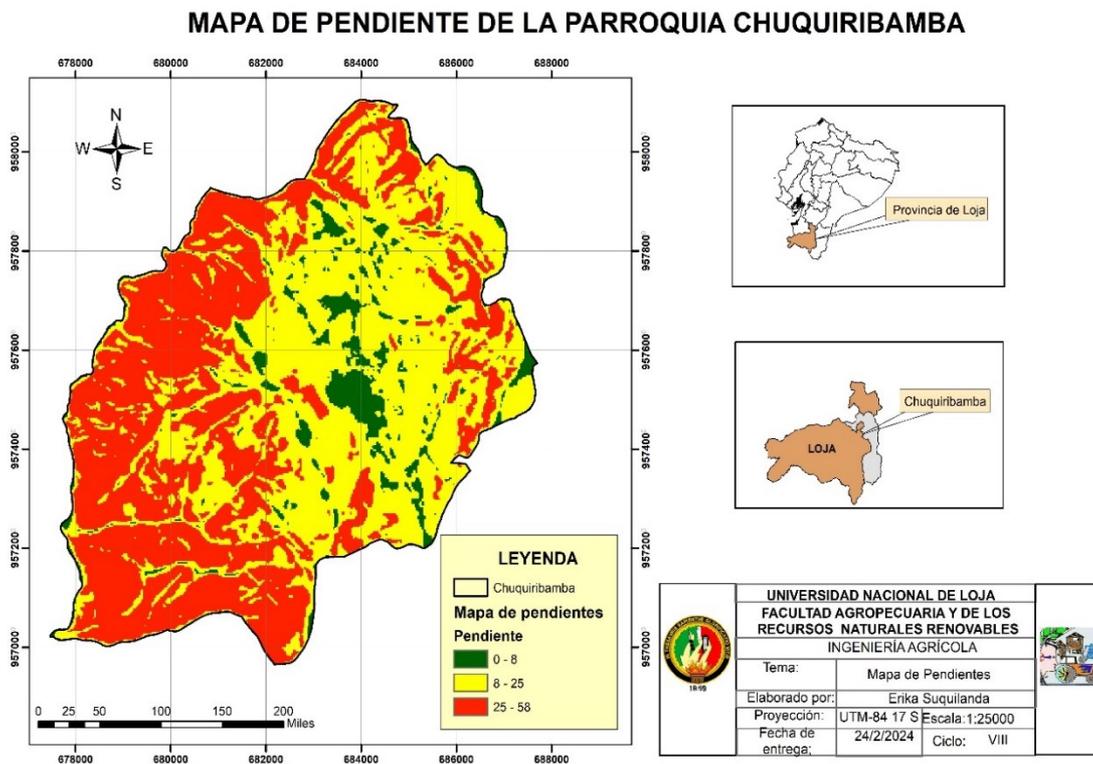
Anexo 6. Pruebas de infiltración



Anexo 7. Infiltración básica de los ocho perfiles, en el sector La Dolorosa del Sistema de Aguarongo –Zaño.

Unidad de suelo	Uso de suelo	Pendiente %	Velocidad de infiltración Básica cm h ⁻¹	Equivalencia
P1ZA	Barbecho	9	12,82	Rápida
P2ZA	Pasto/alfalfa	9	7,54	Moderadamente rápida
P3ZA	Maíz/Hortalizas	8	15,25	Rápida
P1RC	Barbecho/Pasto	11	1,97	Moderadamente lenta
P2RC	Barbecho/Pasto	12	0,35	Lenta
P3RC	Cultivo de maíz	11	5,3	Media
P1EC	Cultivo de papa y maíz	40	6,80	Moderadamente rápida
P2EC	Cultivo de papa y maíz	35	7,03	Moderadamente rápida

Anexo 8. Mapa de pendientes de la zona de estudio



Anexo 9. Fichas de descripción de los perfiles de suelos del sector La Dolorosa

Descripción de perfiles en las parcelas seleccionadas.

Previo a la descripción de los perfiles se realizó una calicata en cada subparcela replanteada con las siguientes medidas: de 1,20 m de largo x 1,50 m de ancho y 1,20 m de profundidad, en la que se describió el perfil del suelo, siguiendo las normas contenidas en la “Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos” de la FAO (2009). La designación de los horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura contenida en el USDA Soil Taxonomy (2014).

Descripción de los Perfiles de Suelos de propiedad del Sra. Zoila Aguiñaca

Código: P1ZA. **Fecha:** 14/9/2023 **Autor:** Ing. Fernanda Livisaca, Ing. Gabriela Abab, Erika Suquilanda. **Sitio:** Zoila Aguiñaca.

Altitud: 2736 m s.n.m. **Coordenadas** 9 575406, 17M 0683397 E. **Pendiente:** 9 %

Paisaje: colina; **Tipo de relieve:** vertiente cresta; **Forma del Terreno:** pie de pendiente.

Uso Actual o cobertura vegetal: barbecho

Condiciones de Humedad: seco. **Pedregosidad superficial:** 0 %; **Tamaño:** 0 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Deposito coluvial: Predominio de avalanchas con bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas andesitas

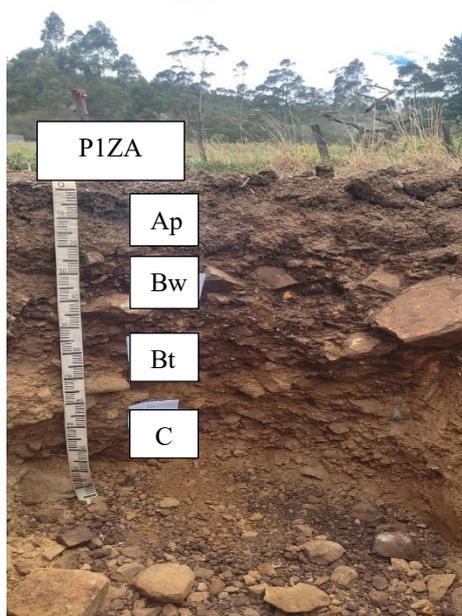
Profundidad de la capa freática: No cm **fluctuación** No cm

Grietas: 2 ancho, 60 de profundidad

Erosión: Hídrica ligera e eólica ligera.

Profundidad efectiva: 30cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre; **Drenaje:** bueno



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Un suelo joven en proceso de formación integrado por 4 capas u horizontes : horizonte Ap de 0-20 cm, franco arcilloso limoso al tacto, marrón oscuro; un horizonte Bw de 30 cm de espesor, franco arcilloso al tacto, marrón grisáceo muy oscuro con un 20% de incremento de rocas que le subyace una capa semidesarrollada; un horizonte Bt con un espesor de 20 cm, arcillo limoso al tacto , marrón amarillento oscuro y finalmente un horizonte C de espesor 60 cm, franco arenoso al tacto, marrón amarillento oscura. La profundidad efectiva es de 30 cm. Ausencia de carbonatos. En la superficie se observan grietas o fisuras de 2 mm de ancho que se extienden hasta 30 cm de profundidad, distanciadas entre 50 a 60 cm unas de otras.

Descripción individual de los horizontes o capas:

- | | |
|---------------|---|
| Ap 00 – 20 cm | Marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo; marrón (7.5YR 4/3) en seco, franco arcillo limoso al tacto; bloques granular media a blocosa subangular, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo y firme en seco; poros comunes, finos; presencia de grava de 20-15% de tamaño redondos, raíces abundantes, muy finas y finas; límite neto y plano. |
| Bw1 20-50 cm | Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; marrón oscuro (10YR 3/3) en seco franco arcilloso al tacto; bloques subangulares finos, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; y |

firme en seco; poros comunes y finos; presencia de gravas 30%, 25% de piedras de forma redondeadas; raíces pocas, finas y muy finas; límite neto y plano.

Bw2 50-70 cm Marrón amarillento oscuro (10YR 3/6) en húmedo; marrón (10YR 4/3) en seco; arcilloso limoso al tacto; bloques subangulares finos, débilmente desarrollados; no adherente, no plástico, friable en húmedo; poros comunes y finos y medios; presencia de gravas 20%, 20% de piedras de forma redondeadas; raíces pocas, finas y muy finas; límite neto y plano.

C 70-130 cm Marrón amarillento oscuro (10YR 4/6) en húmedo; franco arenoso, sin estructura, no adherente, no plástico y no friable; presencia de gravas 80%, 75% de piedras de forma redondeadas: poros pocos y finos. Límite neto y plano

Condiciones Físicas:

En la capa de 00-20 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,00 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros es relativamente alta (61,86 % θ_v). La retención de agua a pF 4,20 es de 28,40 % θ_v , valor que indica que menos la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación (15,11% θ_v) se encuentra en el rango alto, el agua aprovechable (18,36 % θ_v) se ubica en el rango alto, y el volumen del suelo físicamente inerte 66,53 % θ_v , valor considerado aceptable, la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona III del diagrama triangular, equivalente a media. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación (18,21% θ_v) se encuentra en el rango alto y el agua aprovechable (15,26% θ_v) en el rango alto.

La condición física de la capa 20-50 cm (horizonte B_w) la densidad aparente es de $1,10 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros (53,95 % θ_v), valor considerado como adecuado. La retención de agua a pF 4,20 es de 28,18 % θ_v , valor que evidencia que más de la mitad de la porosidad total del suelo que está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 muestra que la capacidad de aireación (8,2% θ_v) se localiza en un rango bajo, el agua aprovechable (17,57 % θ_v) se ubica en el rango alto, y el volumen físicamente inerte es

considerado como muy alto (74, 23% θ_v), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona II del diagrama triangular, equivalente a pobre

Para la retención de agua a pF 2,52 (capacidad de campo según el USDA) la capacidad de aireación (9,20% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (16,57 % θ_v) en el rango alto.

Descripción de los Perfiles de Suelos de propiedad del Sra. Zoila Aguinosa

Código: P2ZA. **Fecha:** 14/9/2023. **Autor:** Ing. Fernanda Livisaca, Ing. Gabriela Abab, Erika Suquilanda. **Sitio:** Zoila Aguinosa.

Altitud: 2740 m s.n.m. **Coordenadas** 9 575420, 17M 0683414 E. **Pendiente:** 9%

Paisaje: colina; **Tipo de relieve:** vertiente cresta; **Forma del Terreno:** pie de pendiente.

Uso Actual o cobertura vegetal: barbecho

Condiciones de Humedad: seco. **Pedregosidad superficial:** 0 %; Tamaño: 0 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental** Deposito coluvial: Predominio de avalanchas con bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas andesitas

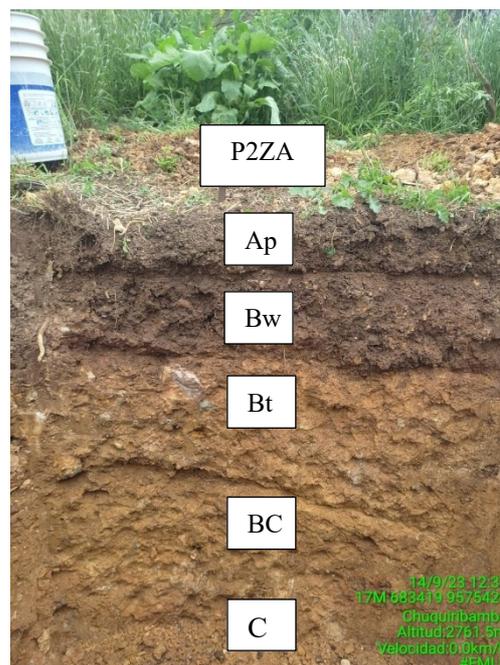
Profundidad de la capa freática: No cm **fluctuación** No cm

Erosión: ligera.

Profundidad efectiva: 35cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre; **Drenaje:** bueno

Orden: Alfisols; **Suborden:** Udalfs; **Gran grupo:** Hapludalfs; **Sub grupo:** Inceptic Hapludalfs



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Un suelo joven en proceso de formación que está integrado por 4 capas u horizontes: un horizonte Ap de 20 cm de espesor, franco arcillo limoso al tacto, marrón amarillento oscuro; un horizonte Bw de 20 cm de espesor, franco arcilloso al tacto, marrón oscuro; un horizonte Bt con un espesor de 15 cm, arcilloso al tacto, marrón; un horizonte BC en proceso de desarrollo con un espesor de 25, arcillo limoso al tacto, marrón grisáceo muy oscuro y finalmente un horizonte C de espesor de 30 cm, arcillo limoso al tacto, marrón amarillento. La profundidad efectiva es de 35 cm. Sin presencia de carbonatos.

Descripción individual de los horizontes o capas :

Ap 00 – 20 cm	Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; marrón amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco, franco arcilloso limoso al tacto; bloques subangular media, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo y firme en seco; poros muchos, medios y gruesos; raíces pocas, gruesas, medias, finas y finas; límite neto y plano.
Bw 20-40 cm	Marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo; marrón oscuro (10YR 3/3) en seco; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares finos, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; y firme en seco; poros comunes y finos; raíces pocas, finas y muy finas; límite neto y plano.
Bt 40-65 cm	Marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo; marrón grisáceo oscuro (10YR 4/3) en seco; arcilloso al tacto; bloques subangulares finos, débilmente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; poros pocos muy finos; raíces pocas, finas y muy finas; límite neto y plano.
BC 65-90 cm	Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; arcillo limoso, bloques subangular débil desarrollado, adherente, plástico y friable: poros pocos y finos; raíces muy finas Limite neto y plano.
C 90-120 cm	Marrón amarillento (10YR 5/6) en humedo: sin estructura; arcillo limoso, adherente, plástico, Limite neto y plano.

Descripción de los Perfiles de Suelos de propiedad del Sra. Zoila Aguinsaca

Código: P3ZA. **Fecha:**14/9/2023 **Autor:** Ing. Fernanda Livisaca, Ing. Gabriela Abab Erika Suquilanda. **Sitio:** Zoila Aguinsaca.

Altitud: 2748 m s.n.m. **Coordenadas** 9 575424, 17M 0683415 E. **Pendiente:** 11%

Paisaje: colina; **Tipo de relieve:** vertiente cresta; **Forma del Terreno:** pie de pendiente.

Uso Actual o cobertura vegetal: alfalfa

Condiciones de Humedad: seco. **Pedregosidad superficial:** 0 %; **Tamaño:** 0 cm

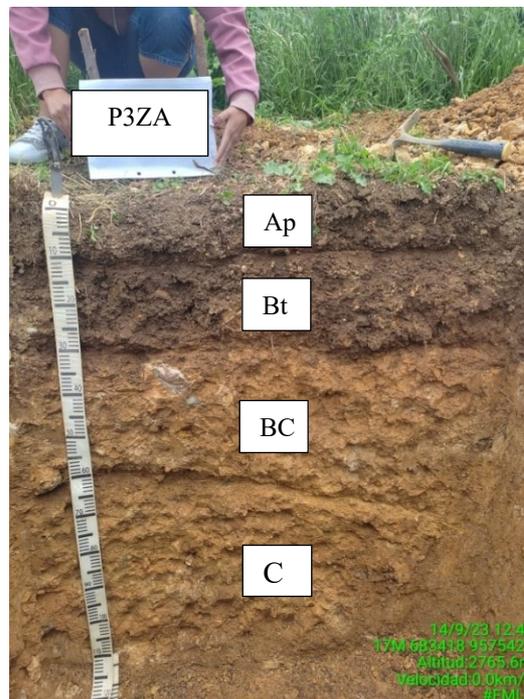
Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Deposito coluvial: Predominio de avalanchas con bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas andesitas

Profundidad de la capa freática: No cm **fluctuación** No cm

Erosión: hídrica ligera, eólica moderada.

Profundidad efectiva: 30 cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre; **Drenaje:** bueno



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Un suelo joven en proceso de formación que está integrado por 4 capas u horizontes: un horizonte Ap de 12 cm de espesor, franco arcillo limoso al tacto, marrón oscuro; un horizonte Bt de 18 cm de espesor, arcillo limoso al tacto, marrón oscuro; un horizonte BC con un espesor de 30 cm, arcillo limoso al tacto, amarillo parduzco y finalmente un horizonte C en proceso de desarrollo con un espesor de 55 cm, franco arcilloso limoso al tacto, amarillo. La profundidad efectiva es de 30 cm.

Descripción individual de los horizontes o capas:

Ap 00 – 12 cm	Marrón oscuro (7.5YR 3/3) en húmedo; marrón oscuro (7.5YR 4/4) en seco, franco arcilloso limoso al tacto; bloques subangular media, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo y firme en seco; 15% de gravas redondeados; poros comunes, finos y medios; raíces comunes, finas; límite neto y plano.
Bt 12-30 cm	Marrón oscuro (7.5YR 3/4) en húmedo; marrón (10YR 5/4) en seco; arcilloso limoso al tacto; bloques subangulares finos, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; y firme en seco; 10% de grava redondeados; poros muy pocos y muy finos y finos; raíces pocas, finas y muy finas; límite neto y plano.
BC 30-60 cm	Amarrillo parduzco (10YR 6/8) en húmedo; arcillo limoso al tacto; bloques subangulares finos, débilmente desarrollados; muy adherente, muy plástico, friable en húmedo; firme en seco; poros pocos muy finos; 3% de piedras redondeadas meteorizadas; límite neto y plano.
C 60-115 cm	amarillo (10YR 7/8) en húmedo: sin estructura; franco arcillo limoso, muy adherente, muy plástico, friable y firme en seco; limite neto y plano

Condiciones físicas

En la capa de 00-12 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,01 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros es relativamente alta ($64,32\%\theta_v$). La retención de agua a $pF_{4,20}$ es de $22,46 \%\theta_v$, valor que indica que menos de la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a $pF_{2,00}$ indica que la capacidad de aireación ($23,35\%\theta_v$) se encuentra en el rango muy alto, el agua aprovechable ($18,51\%\theta_v$) se ubica en el rango alto, y el volumen del suelo físicamente inerte $58,14 \%\theta_v$, valor considerado como aceptable, la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona IV del diagrama triangular, equivalente a buena. Para la retención de agua a $pF_{2,52}$ la capacidad de aireación ($24,94\%\theta_v$) se encuentra en el rango muy alto y el agua aprovechable ($16,92\%\theta_v$) en el rango alto.

La condición física de la capa 12-30 cm (horizonte B_t) la densidad aparente es de $1,15 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros ($56,85 \%\theta_v$), valor considerado como aceptable. La retención

de agua a pF 4,20 es de 28,84 % θ_v , valor que evidencia que alrededor de la mitad de la porosidad total del suelo que está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 muestra que la capacidad de aireación (10,09 % θ_v) se localiza en un rango medio, el agua aprovechable (17,92% θ_v) se ubica en el rango alto, y el volumen físicamente inerte es considerado como muy alto (71,99% θ_v), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona II del diagrama triangular, equivalente a medio. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación (11,71% θ_v) se encuentra en el rango medio y el agua aprovechable (16,30% θ_v) en el rango alto.

Descripción de los Perfiles de Suelos de propiedad del Sra. Rosa Caraguay

Código: P1RC. **Fecha:** 20/10/2023. **Autor:** Ing. Fernanda Livisaca, Erika Suquilanda, Ing. Gaby Abad. **Sitio:** Rosa Caraguay.

Altitud: 2626 m s.n.m. **Coordenadas** 9 574070, 17M 0683980 E. **Pendiente:** 11%

Paisaje: colina; **Tipo de relieve:** vertiente cresta; **Forma del Terreno:** pendiente baja.

Uso Actual o cobertura vegetal: barbecho

Condiciones de Humedad: seco. **Pedregosidad superficial:** 0 %; **Tamaño:** 0 cm

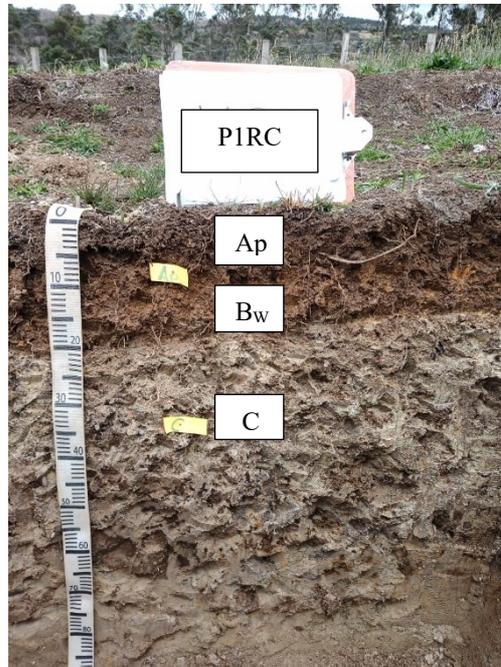
Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Deposito coluvial: Predominio de avalanchas con bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas andesitas

Profundidad de la capa freática: No cm **fluctuación** No cm

Erosión: Hídrica e eólica ligera.

Profundidad efectiva: 30cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre; **Drenaje:** pobre



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Suelos jóvenes que presenta un horizonte Ap de 5 cm de espesor, franco arcilloso al tacto, marrón amarillento oscuro, que le subyace un horizonte Bw de 13 cm de espesor, franco arcillo limoso al tacto, marrón amarillo grisáceo de estructura muy débilmente estructurada. Finalmente, un horizonte C de espesor 72 cm, arcillo arenoso al tacto, marrón amarillo grisáceo con un 50% de restos de material parental que se encuentra sobre un horizonte de 20 a 80 cm, el material parental presenta manchas de color negro manganeso mineral. Las raíces finas y pocas se extienden hasta 30 cm por lo que se asume que corresponde a la profundidad efectiva actual. Sin presencia de carbonatos.

Descripción individual de los horizontes o capas P7D:

- | | |
|--------------|--|
| Ap 00 – 5 cm | Marrón amarillento oscuro (10YR 3/6) en húmedo; franco arcillo al tacto; bloques subangulares finos, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo y firme en seco; presencia de manchas de color amarillo parduzco 10YR 6/6 muy pocos y difusos, poros muchos, finos a medios; raíces abundantes, muy finas y finas; límite brusco y plano. |
| Bw 5-18 cm | Marrón amarillo grisáceo (10YR 5/2) en húmedo; franco arcilloso limoso al tacto; bloques subangulares finos, débilmente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; poros muchos muy finos y finos; |

presencia de gravas 30% de color rojo fuertemente meteorizada; raíces pocas, finas y muy finas; límite neto y plano.

C 18-90 cm Marrón amarillo grisáceo (10YR 6/2) en húmedo; arcillo arenoso, masivo sin estructura, adherente, plástico y friable; con presencia de gravas altamente meteorizado: poros pocos y finos. Límite neto y plano.

Condiciones Físicas:

En la capa de 00-05 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $0,84 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros es relativamente alta ($66,99\%\theta_v$). La retención de agua a pF 4,20 es de $30,91 \%\theta_v$, valor que indica que al menos la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF2,00 indica que la capacidad de aireación ($13,80\%\theta_v$) se encuentra en el rango medio, el agua aprovechable ($22,18\%\theta_v$) se ubica en el rango muy alto, y el volumen del suelo físicamente inerte $64,01 \%\theta_v$, valor considerado como aceptable, la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona III del diagrama triangular, equivalente a medio. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación ($14,90\%\theta_v$) se encuentra en el rango medio y el agua aprovechable ($21,09 \%\theta_v$) en el rango muy alto.

La condición física de la capa 05-18 cm (horizonte B_w) la densidad aparente es de $0,87 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros ($66,93\%\theta_v$), valor considerado como alto. La retención de agua a pF 4,20 es de $32,47 \%\theta_v$, valor que evidencia que es menos de la mitad de la porosidad total del suelo que está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 muestra que la capacidad de aireación ($13,23\%\theta_v$) se localiza en un rango medio, el agua aprovechable ($21,22\%\theta_v$) se ubica en el rango muy alto, y el volumen físicamente inerte es considerado aceptable ($65,54 \%\theta_v$), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona III del diagrama triangular, equivalente a medio. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación ($14,33\%\theta_v$) se encuentra en el rango medio y el agua aprovechable ($20,13 \%\theta_v$) en el rango muy alto.

Descripción de los Perfiles de Suelos de propiedad del Sra. Rosa Caraguay

Código: P2RC. **Fecha:** 20/10/2023 **Autor:** Ing. Fernanda Livisaca, Erika Suquilanda. **Sitio:** Rosa Caraguay.

Altitud: 2626 m s.n.m. **Coordenadas** 9 574077, 17M 0683988 E. **Pendiente:** 11%

Paisaje: colina; **Tipo de relieve:** vertiente cresta; **Forma del Terreno:** pendiente baja.

Uso Actual o cobertura vegetal: barbecho/Pasto

Condiciones de Humedad: seco y húmedo. **Pedregosidad superficial:** 1 %; **Tamaño:** 0 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Deposito coluvial: Predominio de avalanchas con bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas andesitas

Profundidad de la capa freática: No cm **fluctuación** No cm

Erosión: Hídrica e eólica ligera.

Profundidad efectiva: 30cm

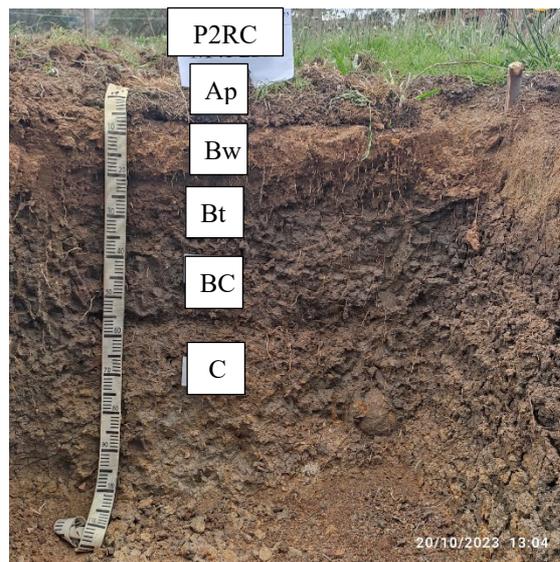
Presencia de Sales o Alcalis: libre; **Drenaje:** pobre

Grietas: 5 mm de ancho, 15 cm de distancia y 30 cm de profundidad

Profundidad efectiva: 55 cm

Clasificación taxonómica preliminar USDA (2014):

Orden: Alfisols; **Suborden:** Udalfs; **Gran grupo:** Hapludalfs; **Sub grupo:** Chromic Vertic Hapludalfs;



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelos jóvenes que presenta 4 horizontes Ap, Bw, Bt, BC y C: un horizonte Ap de 5 cm de espesor, franco arcilloso al tacto, marrón grisáceo oscuro de estructura migajosa; un horizonte Bw de espesor 15 cm, franco arcilloso al tacto, marrón; un horizonte Bt de 15 cm,

arcillosa al tacto, marrón; un horizonte BC con un espesor de 25 cm, franco limoso al tacto, marrón y finalmente un horizonte C de espesor de 50 cm, arcilloso al tacto de color gris y amarillo rojizo.

En los 30 cm hay presencia de un material gris con estructura prismática angular que se encuentra sobre un material de textura arcillosa que se encuentra a una profundidad de 20 cm. La profundidad efectiva de 55 cm. Presencia de rocas moderadas andesíticas con fuerte meteorización. Ausencia de carbonatos. En la superficie se observan grietas o fisuras de 5 mm de ancho que se extienden hasta 30 cm de profundidad, distanciadas entre 20 a 30 cm unas de otras.

Descripción individual de los horizontes o capas:

Ap 00 – 5 cm	Marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo; marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco franco arcilloso al tacto; migajosa, fina, débilmente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo y duro en seco ; con presencia de pocas gravas redondeadas fuertemente meteorizado ;poros muchos finos y medios ; raíces comunes y finas; límite neto y plano.
Bw 5-20 cm	Marrón (7.5 YR 4/3) en húmedo; marrón (10YR 5/3) en seco franco arcilloso al tacto; presencia de manchas de color marrón rojizo (5 YR 4/3) muchas, grandes y destacadas; bloques subangulares, medio, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo y duro en seco; con presencia de pocas gravas angulares y redondeadas fuertemente meteorizadas: poros muchos finos; raíces comunes y finas; límite neto y plano.
Bt 20-35 cm	Marrón (7.5 YR 4/2) en húmedo; arcilloso al tacto; presencia de manchas de color marrón oscuro (7.5 YR 3/3) frecuentes, y media; bloques subangulares y angulares, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, firme en húmedo; con presencia de pocas gravas subangulares fuertemente meteorizadas: cutanes finos y continuos poros frecuentes y muy finos; raíces pocas y finas; límite neto y plano.
BC 35-60 cm	Marrón oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; franco limoso al tacto; bloques subangulares, angulares y prismática, moderadamente desarrollados; muy adherente, muy plástico, muy firme en húmedo; con presencia de

pocas gravas subangulares fuertemente meteorizadas: cutanes delgados en la cara de los agregados; poros pocos y muy finos; raíces pocas y finas; límite gradual y ondulado

C 60-110 cm Gris (7.5 YR 5/1) y amarillo rojizo (7.5 YR 6/6) en húmedo; arcilloso, masivo sin estructura, muy adherente, muy plástico y firme; con presencia de pedregones fuertemente meteorizado: poros pocos y finos; raíces pocas y muy finas.

Descripción de los Perfiles de Suelos de propiedad del Sra. Rosa Caraguay

Código: P3RC. **Fecha:** 20/10/2023 **Autor:** Ing. Fernanda Livisaca, Erika Suquilanda. **Sitio:** Rosa Caraguay.

Altitud: 2626 m s.n.m. **Coordenadas** 9 574147, 17M 0684462 E. **Pendiente:** 11%

Paisaje: colina; **Tipo de relieve:** vertiente cresta; **Forma del Terreno:** pendiente baja.

Uso Actual o cobertura vegetal: Cultivo de maíz y Hortalizas

Condiciones de Humedad: seco **Pedregosidad superficial:** 1 %; Tamaño: 0 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Deposito coluvial: Predominio de avalanchas con bloques angulosos de rocas volcánicas y metamórficas andesitas

Profundidad de la capa freática: No cm **fluctuación** No cm

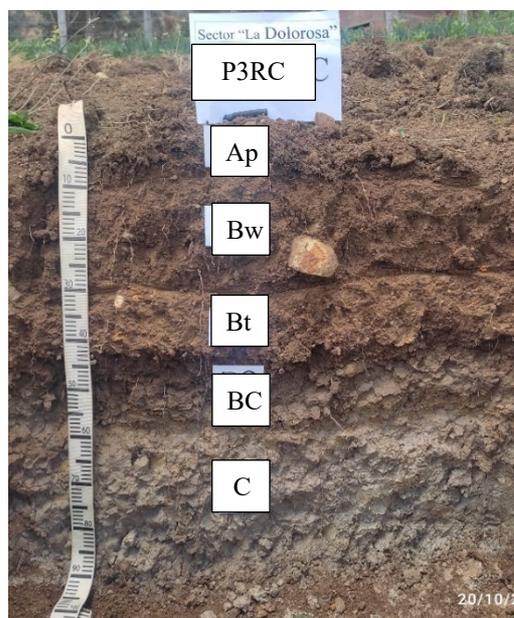
Erosión: Hídrica e eólica ligera.

Profundidad efectiva: 55 cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre; **Drenaje:** pobre

Grietas: 0,5 cm de ancho, 20- 40 cm de distancia y 10-20 cm de profundidad

Profundidad efectiva: 55 cm



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Suelos moderadamente desarrollados integrado por 5 capas que se pueden diferenciar conformadas por dos depósitos coluviales de 0-45 cm y 45-90 cm integrado por Ap, Bw, Bt, BC y C. El horizonte Ap tiene un espesor de 10 cm, franco arcilloso al tacto, marrón; horizonte Bw posee un espesor de 20 cm, franco arcilloso al tacto, marrón amarillento; un horizonte Bt de espesor 15 cm arcilloso al tacto, marrón amarillento oscuro; horizonte BC de espesor 15 cm, arcilloso limoso, marrón y finalmente un horizonte C con un espesor de 30 cm, arcillo limoso al tacto de color gris.

La profundidad efectiva es de 55 cm pocas y finas con presencia de rocas moderadas andesíticas con moderada meteorización. Ausencia de carbonatos. En la superficie se observan grietas o fisuras de 5 mm de ancho que se extienden hasta 20-40 cm de profundidad, distanciadas entre 10 a 20 cm unas de otras.

Descripción individual de los horizontes o capas P7D:

Ap 00 – 10 cm	Marrón (10YR 4/3) en húmedo; marrón (10YR 5/3) en seco franco arcilloso al tacto; presencia de manchas de color marrón (7.5 YR 4/3) pocas, pequeñas e indistintas; bloques angulares, finas, moderado desarrollo; adherente, plástico, firme en húmedo y duro en seco; con presencia de muy pocas gravas redondeadas y angulares moderadamente meteorizadas; poros frecuentes y finos; raíces muy finas, finas y pocas; límite neto y plano.
Bw 10 – 30 cm	Marrón amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; marrón amarillento (10YR 5/4) en seco, franco arcilloso al tacto; presencia de manchas de color marrón rojizo (5 YR 4/4) frecuentes, pequeñas y definidas; bloques subangulares, fina, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, firme en húmedo y duro en seco; con presencia de muy pocas gravas redondeadas moderadamente meteorizadas: poros frecuentes y finos; raíces finas y comunes; límite neto y plano.
Bt 30-45 cm	Marrón amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; marrón amarillento (10YR 5/4) en seco; arcilloso al tacto; presencia de manchas de color marrón rojizo (5 YR 4/4) muchas, medianas y definidas ;bloques subangulares, medio, moderadamente desarrollados; muy adherente,

muy plástico, firme en húmedo y muy duro en seco ; con presencia de pocas gravas redondas y planas ligeramente meteorizadas: cutanes delgados y discontinuos; poros muchos, finos y medios; raíces pocas y finas; límite neto y plano.

- BC 45-60 cm Marrón (10 YR 4/3) en húmedo; marrón grisáceo (10YR 5/2) en seco arcillo limoso al tacto; presencia de manchas de color marrón fuerte (7.5 YR 5/6) frecuentes, medianas y definidas; prismática, fina a masiva, moderadamente desarrollado; muy adherente, muy plástico, firme en húmedo y duro en seco; cutanes delgados y discontinuos; poros pocos y muy finos; raíces pocas y finas; límite gradual y plano.
- C 60-90 cm Gris (10 YR 6/1) en húmedo; arcilloso limoso al tacto; presencia de manchas de color amarillo pardusco (10 YR 6/6) pocas, pequeñas e indistintas, masivo sin estructura, muy adherente, muy plástico, firme en húmedo y duro en seco; poros pocos y muy finos; raíces pocas y finas.

Condiciones Físicas:

En la capa de 00-10 (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,00 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros adecuada ($62,50 \%\theta_v$). La retención de agua a pF4,20 es de $29,86 \%\theta_v$, valor que indica que menos de la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF2,00 indica que la capacidad de aireación ($12,37\%\theta_v$) se encuentra en el rango medio, el agua aprovechable ($20,24\%\theta_v$) se ubica en el rango muy alto, y el volumen del suelo físicamente inerte $67,39\%\theta_v$, es aceptable, la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona III del diagrama triangular, equivalente a medio. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación ($13,88 \%\theta_v$) se encuentra en el rango medio y el agua aprovechable ($18,74 \%\theta_v$) en el rango alto.

La condición física de la capa 10-30 (horizonte B_w) la densidad aparente es de $1,03 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros ($58,85\%\theta_v$), valor considerado como alto. La retención de agua a pF 4,20 es de $30,72 \%\theta_v$, valor que evidencia que más de la mitad de la porosidad total del suelo que está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 muestra que la capacidad de aireación ($6,05\%\theta_v$) se localiza en un rango bajo el agua

aprovechable (22,08% θ_v) se ubica en el rango muy alto, debido a la textura arcillosa. El volumen físicamente inerte es considerado aceptable (71,86% θ_v), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona II del diagrama triangular, equivalente a pobre. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación (8 % θ_v) se encuentra en el bajo y el agua aprovechable (20,13 % θ_v) en el rango alto.

Descripción de los Perfiles de Suelos de propiedad del Sr. Emilio Curipoma

Código:P1EC. **Fecha:** 6/11/2023 **Autor:** Ing. Fernanda Livisaca, Erika Suquilanda, Ing. Rubén Soto, Ing Miguel Villamagua **Sitio:** Emilio Curipoma.

Altitud: 2816,3 m s.n.m. **Coordenadas** 9 575399 M 0683106 E. **Pendiente:** 40 %

Paisaje: colina; **Tipo de relieve:** loma; **Forma del Terreno:** pendiente media.

Uso Actual o cobertura vegetal: Cultivo de papa y maíz

Condiciones de Humedad: seco. **Pedregosidad superficial:** 0 %; Tamaño: 0 cm

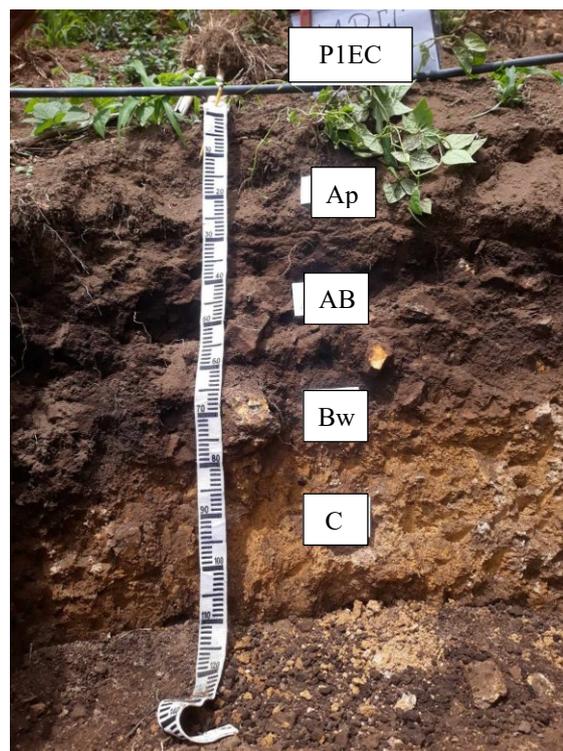
Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Unidad Tesalia: Brechas y autobrechas volcánicas básicas e intermedias, además niveles de lavas andesíticas

Profundidad de la capa freática: No cm **fluctuación** No cm

Erosión: hídrica ligera, eólica severa.

Profundidad efectiva: 25 cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre; **Drenaje:** bueno



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Un suelo joven presenta 2 posiciones que se encuentra de 0-25 cm compuesto por un horizonte Ap, franco arcilloso al tacto, marrón amarillento oscuro; el segundo AB desde los 25-55 cm, franco arcillo limoso al tacto, color gris muy oscuro; un horizonte BC de espesor de 20 cm, franca arcillosa al tacto, amarillenta y finalmente un horizonte C de espesor 75 cm, arcillo limosa al tacto, amarillenta. La profundidad efectiva llega a los 30cm.

Descripción individual de los horizontes o capas:

Ap 00 – 25 cm	Marrón amarillento oscuro (10 YR 3/4) en húmedo; franco arenoso al tacto; bloques subangular y grumoso, muy fina y finas, moderadamente desarrollados; muy adherente, muy plástico, friable en húmedo y duro en seco; pocas y muchas piedras angulares moderadamente meteorizadas; poros muchos frecuentes, finos, muy finos; raíces abundantes, finas y muy finas; límite brusco y ondulado
AB 25-55 cm	Gris muy oscuro (7.5 YR 3/1) en húmedo franco arcilloso limoso al tacto; bloques subangulares, finos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; pocas y piedras y grava angulares, moderadamente meteorizadas; poros muchos y frecuentes, finos y muy finos; raíces abundantes y pocas, finas y muy finas; límite neto y ondulado.
Bw 55-80 cm	Amarrillo (7,5YR 2,5/2) en húmedo: bloques subangulares y prismática de débil desarrollo, finas; franco arcillosa, plástico, adherente, friable en húmedo; muchas piedras y grava angulares, meteorizadas; poros muchos y frecuentes, finos y muy finos; raíces muy pocas y finas; límite brusco y ondulado.
C 80- 110 cm	Amarrillo (10YR 6/8) en húmedo: sin estructura; arcillo limoso plástico, adherente, friable en húmedo; pocas gravas angulares fuertemente meteorizadas.

Condiciones Físicas:

En la capa de 00-25 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $0,98 \text{ g.cm}^{-3}$, el volumen total de poros es aceptable ($62,07\% \theta_v$). La retención de agua a pF_{4,20} es de $34,43\% \theta_v$, valor que indica que más de la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos que retienen agua que no es aprovechable por las plantas.

La distribución de volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF_{2,00} indica que la capacidad de aireación (15,65%θ_v) se encuentra en el rango alto, el agua aprovechable (11,99 %θ_v) se ubica en el rango medio, y el volumen del suelo físicamente inerte 72,36 %θ_v, valor considerado como alto, la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona II del diagrama triangular, equivalente a pobre. Para la retención de agua a pF 2,52 la capacidad de aireación (16,94%θ_v) se encuentra en el rango alto y el agua aprovechable (10,70 %θ_v) en el rango medio.

La condición física de la capa 25-55 cm (horizonte B_w) la densidad aparente es de 1,03 g.cm⁻³, el volumen total de poros (62,01%θ_v), valor considerado como alto. La retención de agua a pF 4,20 es de 27,36 %θ_v, valor que evidencia que menos de la mitad de la porosidad total del suelo que está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 muestra que la capacidad de aireación (8,67%θ_v) se localiza en un rango bajo, el agua aprovechable (25,89%θ_v) se ubica en el rango muy alto, y el volumen físicamente inerte es considerado como muy alto (65,44%θ_v), la condición física para el crecimiento de las plantas corresponde a la zona II del diagrama triangular, equivalente a pobre. Para la retención de agua pF 2,52 la capacidad de aireación (10,47%θ_v) se encuentra en el medio y el agua aprovechable (24,09 %θ_v) en el rango muy alto.

Descripción de los Perfiles de Suelos de propiedad del Sr. Emilio Curipoma

Código: P2EC. **Fecha:** 30/11/2023 **Autor:** Erika Suquilanda, Ing. Rubén Soto **Sitio:** Emilio Curipoma **Altitud:** 2799,1 m s.n.m. **Coordenadas** 9575389 M 0683125 E. **Pendiente:** 35 %

Paisaje: colina; **Tipo de relieve:** loma; **Forma del Terreno:** pendiente media.

Uso Actual o cobertura vegetal: Cultivo de papa y maíz

Condiciones de Humedad: seco. **Pedregosidad superficial:** 5%-10%; Tamaño: 4- 20 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Unidad Tesalia: Brechas y autobrechas volcánicas básicas e intermedias, además niveles de lavas andesíticas

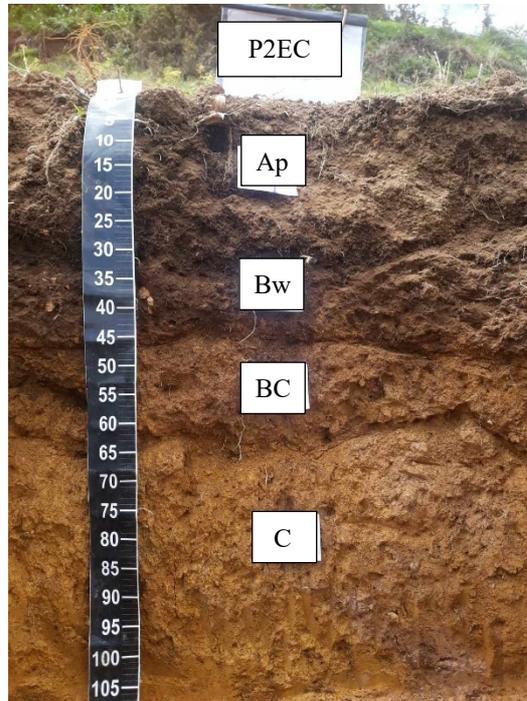
Profundidad de la capa freática: No cm **fluctuación** No cm

Erosión: hídrica ligera, eólica severa.

Profundidad efectiva: 65 cm

Presencia de Sales o Alcalis: libre; **Drenaje:** bueno

Orden: Inceptisol; **Suborden:** Udepts; **Gran grupo:** Eutrudepts; **Sub grupo:** Andic Eutrudepts



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Un suelo joven presenta horizontes: Ap, Bw, BC y C. El horizonte Ap, de espesor de 30 cm, franco arcilloso al tacto, marrón amarillento oscuro; el segundo Bw desde los 30-45cm, franco arcilloso al tacto color gris muy oscuro; un horizonte BC de espesor de 20 m, franca arenosa, amarillenta y finalmente un horizonte C de espesor 55 cm, franco limoso al tacto, marrón amarillento. La profundidad efectiva llega a los 65 cm y presencia de rocas ligeramente meteorizadas en todo el perfil.

Descripción individual de los horizontes o capas:

Ap 00 – 30 cm Marrón amarillento oscuro (10 YR 4/3) en húmedo; franco arcillo al tacto; migajosa a bloques subangulares, muy fina y finas, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo y muy duro en seco; pocas gravas subangulares meteorizadas; poros muchos frecuentes, finos, muy finos; raíces abundantes, finas y muy finas; límite brusco y ondulado.

Bw 30 - 45 cm Marrón amarillento oscuro (10 YR 3/4) en húmedo, franco arcilloso al tacto; migajosa a bloques subangulares, finos y medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; pocas gravas subangulares, ligeramente meteorizadas; poros muchos y frecuentes, finos y medios; raíces comunes, finas y medias; límite neto y ondulado.

- BC 45- 60 cm Amarrillo amarillenta (10YR 5/6) en húmedo: bloques subangulares y prismática de débil desarrollo, finas y medias; franca arcillosa, plástico adherente, friable en húmedo; muy pocas gravas angulares, fuertemente meteorizadas; poros pocos, finos y muy finos; raíces pocas y finas; límite neto y plano.
- C 60- 115 cm Marrón amarillento (10 YR 6/8) en húmedo; amarillo (10 YR 7/8) en seco; franco limoso al tacto; bloques finos a masivo; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; y firme en seco; pocas gravas subangulares, fuertemente meteorizadas; poros pocos, finos y muy finos; raíces muy pocas finas y muy finas

Anexo 10. Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo

1.INTRODUCCIÓN

Las propiedades fisicoquímicas del suelo determinan la fertilidad del suelo, y su conocimiento son fundamentales para asegurar la disponibilidad de nutrientes y maximizar los rendimientos para el cultivo de papa.

El sistema de riego Aguarongo perteneciente a la parroquia Chuquiribamba presenta bajos niveles de producción del cultivo de papa debido a:

- Suelos ácidos
- Baja capacidad de intercambio catiónico
- Bajo contenido de N y B
- Medio en K, Ca, Mg, Zn, S
- Baja capacidad de aireación resultado del sobrepastoreo y labranza.

2.OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Contribuir al incremento del rendimiento de la papa nativa a través de la caracterización y plan de fertilización del sector La Dolorosa del Sistema de riego Aguarongo-Zañe.

2.2. Objetivo Especifico

- Caracterizar física y químicamente los suelos del sector la Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.
- Elaborar un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa en la Sector la Dolorosa.

3.METODOLOGIA

3.1.Ubicación del Area de Estudio

El sistema de riego Aguarango-Zañe, pertenece a la parroquia de Chuquiribamba; cantón Loja ubicada 49 km al noroccidente de la ciudad de Loja.

3.2.Caracterización física y química de los suelos del sector la Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.

Para evaluar las propiedades fisicoquímicas, se utilizó un esquema de muestreo de forma aleatoria. En los sitios seleccionados se realizaron una calicata de 1,2 m x 1,5 m x 1,2 m de profundidad, en la que se describe el perfil del suelo, en los dos primeros horizontes de tomaron muestras alteradas e inalteradas para determinar en laboratorio las propiedades físicas.



Calicatas

Se procedió a la recolección de muestras alteradas en las tres unidades de suelo, hasta una profundidad de 25 cm, para el análisis químico, donde se determinó: pH, elementos disponibles N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn, Fe, B, Zn, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica

3.3 Elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa en la Sector la Dolorosa.

Después de llevar a cabo la caracterización de las propiedades químicas por parte de un laboratorio de Suelo certificado, se procedió a elaborar un plan de enmiendas considerado: el pH, relación de cationes y acidez intercambiable (Al⁺³ e H⁺).

Para la elaboración del plan de fertilización se lo realizó con los resultados de los macro y micronutrientes disponibles en el suelo, además de los requerimientos del cultivo y la curva de absorción de nutrientes para la papa nativa.



DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre	SUCROSA SUCROSA SUCROSA SUCROSA	Número	1234	Categoría	11000
Dirección	LOJA, LOJA	Provincia	Loja	Fecha de Muestreo	1/12/2023
Ciudad	LOJA	Cantón	Loja	Fecha de Reporte	21/12/2023
Teléfono	0994910100	Parroquia	Chuquiribamba	Fecha de Validación	18/12/2024
Fax		Ubicación	La Dolorosa		

N° Muestra	Laborat.	Identificación	Área	pH																
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10							
112150	INIA	112150	1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
112151	INIA	112151	2	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8
112152	INIA	112152	3	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8

DATOS DEL PROPIETARIO		DATOS DE LA PROPIEDAD		PARA USO DEL LABORATORIO	
Nombre	SUCROSA SUCROSA SUCROSA SUCROSA	Número	1234	Categoría	11000
Dirección	LOJA, LOJA	Provincia	Loja	Fecha de Muestreo	1/12/2023
Ciudad	LOJA	Cantón	Loja	Fecha de Reporte	21/12/2023
Teléfono	0994910100	Parroquia	Chuquiribamba	Fecha de Validación	18/12/2024
Fax		Ubicación	La Dolorosa		

Análisis Físico-Químico en el INIAP

4.RESULTADOS

4.1 Caracterización física y química de los suelos del sector la Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.

Unidad de suelo	pH	MO	CIC	Textura
	1:2.5(Ag ua)	%	meq/100 g	
P2ZA	4,8	4,5	14,10	FoAc
P2RC	4,6	3,5	15,72	FoAc
P1EC	5,0	4,6	19,01	FoAc

4.2 Elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa en la Sector la Dolorosa.

PLAN DE FERTILIZACIÓN



Aplicar Calpac Dolomix para aumentar el pH en el suelo.

Cultivo	pH optimo
Papa	5,5 – 6,5

Unidad de suelo	kg.ha-1	m ² /área	área surco	# Surcos	Cal kg/surco	Cal total (kg)	Sacos/Parcela	Sacos Total
P2ZA	3360,9	518,4	14,4	33	4,8	160	1,18	3,55
P2RC	3499	518,4	14,4	33	5	166	1,23	3,7
P1EC	1941	415,8	12,6	30	2,4	73	0,54	1,63

Para satisfacer los requerimientos del cultivo de papa se aplicará para el sector de estudio y se utilizarán los fertilizantes indicados.

Fertilizante	g.planta-1		
	ZA	RC	EC
Rafos	16,80	28,69	27,75
Superfosfato Triple		5,5	3,00
Nitrato de K	26,70	19,94	34,51
Muriato de K	3,50	8,41	1,92
Bórax	0,4	0,4	0,4

5. CONCLUSIONES

- ✓ Los suelos del Módulo 4 del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe se caracterizan por presentar
 - Baja capacidad de aireación con textura Franco arcilloso.
 - La materia orgánica. rango medio
 - CIC; rango bajo
 - El sector presenta suelos deficientes en nutrientes de N, S, Mg y Boro.
- ✓ El plan de fertilización se elaboró con una dosis de Calpac Dolomix de 1941 a 3360 kg ha⁻¹, 134 a 153 kg ha⁻¹ de N, 43 a 103 kg ha⁻¹ de P, 220 a 308 kg ha⁻¹ de K, 25 a 45 kg ha⁻¹ de Ca, 50 a 94 kg ha⁻¹ de Mg y 38 a 46 kg ha⁻¹ de S.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

Caracterización de las propiedades físico-químicas del suelo y elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa, en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe. Parroquia Chuquiribamba.



AUTORA:

Erika Thalía Suquilanda Ortega

DIRECTOR:

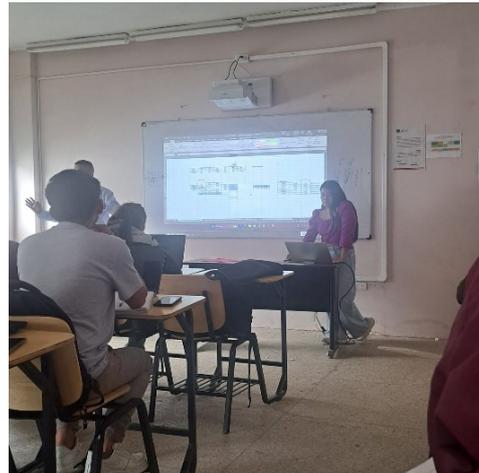
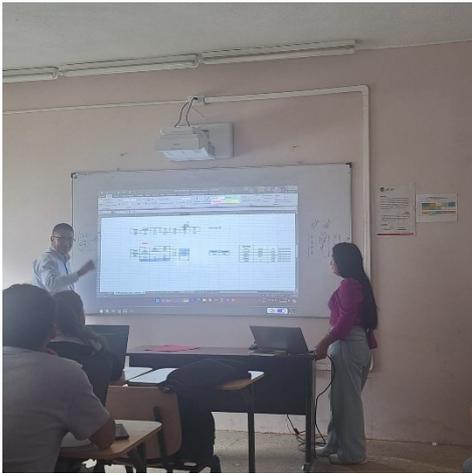
Ing. M.Sc. Miguel Villamagua

Anexo 11. Difusión de Resultados

Tipo de Evento: Día de Campo 1

Tema: Socialización del plan de fertilización para el cultivo de papa nativa, en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo –Zaño, Parroquia Chuquiribamba

Participantes: Director de tesis, tesista, docentes y estudiantes de Ingeniería Agrícola



Tipo de Evento: Día de Campo 2

Tema: Caracterización de las propiedades físico-químicas del suelo y elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa, en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo –Zaño, Parroquia Chuquiribamba

Participantes: Director de tesis, tesista, docentes y usuarios del Sistema de Riego Aguarongo-Zaño sector “La Dolorosa”



Anexo 12. Retención de humedad en el rango de pF 0,0 a pF 4,20 de los dos primeros horizontes de los 8 perfiles, en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zaña.

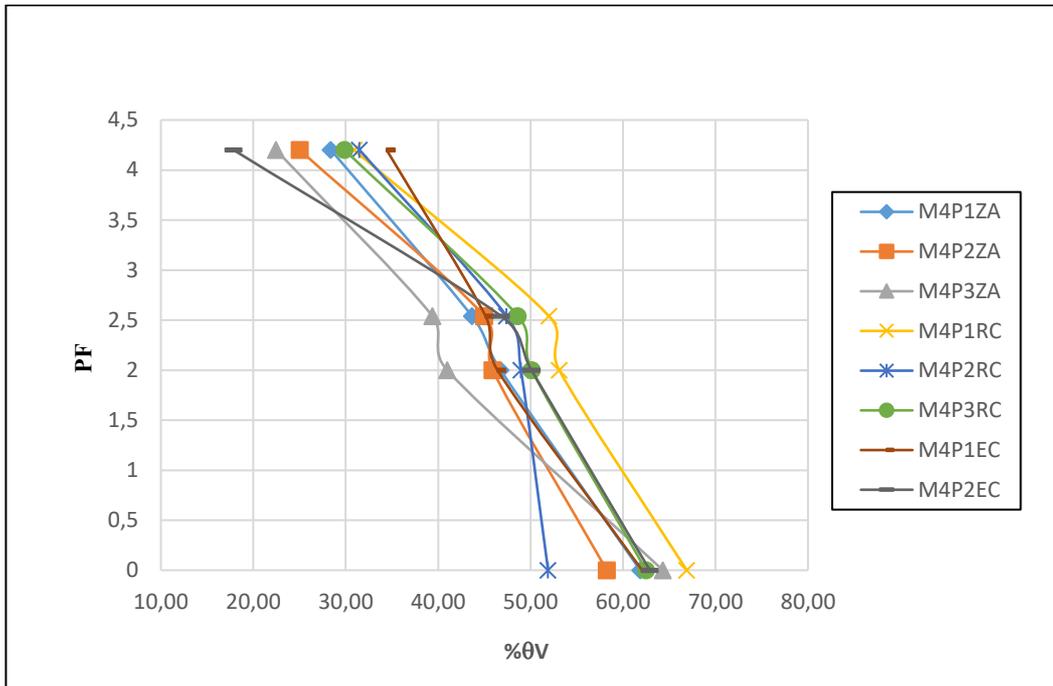
Unidad de suelo	Pendiente %	Profundidad cm	Da g.cm ⁻³	Porosidad total % θ_v pF0	Capacidad de campo % θ_v pF2,00	Capacidad de campo % θ_v pF 2,52	Punto Marchitez % θ_v pF4,20
P1ZA	9	Ap (00-20)	1,00	61,86	46,76	43,65	28,40
		Bw ₁ (20-50)	1,10	53,95	45,75	44,75	28,18
P2ZA	9	Ap (00-20)	1,06	58,25	45,90	45,00	25,03
		Bw (20-40)	1,11	60,01	46,36	44,81	28,95
P3ZA	8	Ap (00-12)	1,01	64,32	40,97	39,37	22,46
		Bt (12 -30)	1,15	56,85	46,76	45,14	28,84
P1RC	11	Ap (00-05)	0,84	66,90	53,09	51,99	30,91
		Bw (05-18)	0,87	66,93	53,69	52,60	32,47
P2RC	11	Ap (00-10)	1,23	51,89	48,95	47,41	31,48
		Bw (10-30)	0,97	58,40	43,14	40,74	24,70
P3RC	12	Ap (00-05)	1,00	62,50	50,13	48,62	29,89
		Bw (05-20)	1,03	58,85	52,80	50,85	30,72
P1EC	40	Ap (00-30)	0,98	62,07	46,42	45,13	34,43
		Bw (30-45)	1,03	62,01	53,35	51,54	27,46
P2EC	35	Ap (00-25)	0,89	62,90	50,09	46,81	17,88
		Bw (25-55)	0,98	59,96	49,48	46,69	24,37

Anexo 13. Capacidad de aireación, agua aprovechable, volumen físicamente inerte y zona del diagrama triangular, de los dos primeros horizontes de los perfiles del sector la Dolorosa.

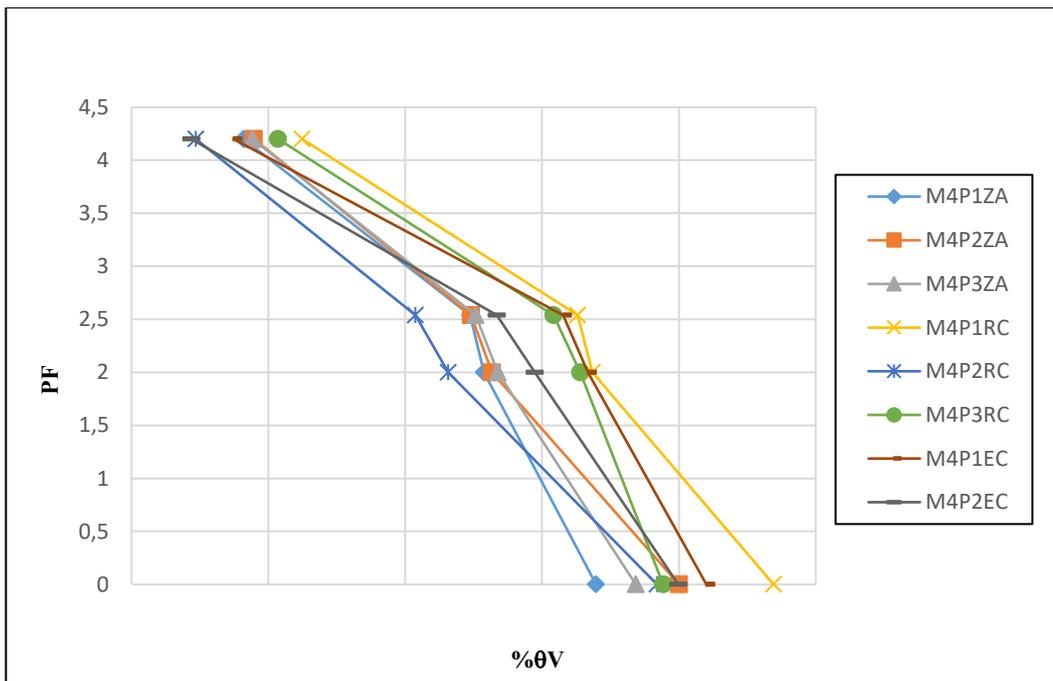
Perfiles de Suelo/Uso	Pendiente %	Profundidad cm	CA % θ_v pF 2	CA % θ_v pF2,52	AA % θ_v pF 2	AA % θ_v pF2,52	VFI % θ_v	Zona del diagrama pF2,00	Equivalencia
P1ZA Barbecho	9	Ap (00-20)	15,11	18,21	18,36	15,26	66,53	III	Medio
		Bw ₁ (20-50)	8,20	9,20	17,57	16,57	74,23	II	Pobre
P2ZA Pasto/Alfalfa	9	Ap (00-20)	12,35	13,25	20,87	19,97	66,78	III	Media
		Bw (20-40)	13,66	15,21	17,41	15,86	68,94	III	Medio
P3ZA Maíz/Hortalizas	8	Ap (00-12)	23,35	24,94	18,51	16,92	58,14	IV	Buena
		Bt (12 -30)	10,09	11,71	17,92	16,30	71,99	III	Pobre
P1RC Barbecho/Pasto	11	Ap (00-05)	13,80	14,90	22,18	21,09	64,01	III	Medio
		Bw (05-18)	13,23	14,33	21,22	20,13	65,54	III	Medio
P2RC Barbecho/Pasto	11	Ap (00-05)	2,94	4,48	17,47	15,92	79,59	I	Muy Pobre
		Bw (05-20)	15,26	17,66	18,44	16,04	66,30	III	Medio
P3RC Cultivo de maíz	12	Ap (00-10)	12,37	13,88	20,24	18,74	67,39	III	Medio
		Bw (10-30)	6,05	8,00	22,08	20,13	71,86	II	Pobre
P1EC Cultivo de maíz y papa	40	Ap (00-25)	15,65	16,94	11,99	10,70	72,36	II	Pobre
		Bw (25-55)	8,67	10,47	25,89	24,09	65,44	II	Pobre
P2EC Cultivo de maíz y papa	35	Ap (00-30)	12,80	16,08	32,21	28,93	54,98	III	Medio
		Bw (30-45)	10,48	13,26	25,10	22,32	64,41	III	Medio

Capacidad de Aireación (CA); Agua Aprovechable (AA); Volumen físicamente Inerte (VFI).

Anexo 14. Curvas de retención de humedad del primer horizonte de los ocho perfiles, en el sector La Dolorosa del Sistema Riego Aguarongo – Zañe.



Anexo 15. Curvas de retención de humedad del segundo horizonte de los ocho perfiles en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.



Anexo 16. Certificado traducción del resumen

UNIDAD EDUCATIVA “12 DE FEBRERO”



Zamora, 22 de mayo de 2024

Yo, Lic. **Jhonny Favian Romero Zapata**, con cedula de identidad **1900545631**, docente de la Unidad educativa 12 de febrero certifico:

Que tengo el conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del resumen del trabajo de titulación: **Caracterización de las propiedades fisicoquímicas del suelo y elaboración de un plan de fertilización para el cultivo de papa nativa, en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo –Zañe, Parroquia Chuquiribamba**, de la autoría de la estudiante **Erika Thalía Suquilanda Ortega**, con cedula **1401066061**, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Atentamente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Jhonny Favian Romero Zapata", written over a horizontal line.

Jhonny Favian Romero Zapata

Registro Senescyt: 1008-2021-2267747