



unl

Universidad
Nacional
de Loja

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS

NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERIA AGRÍCOLA

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS
SUELOS EN EL SISTEMA DE RIEGO AGUARONGO-ZAÑE
DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA**

Tesis previa a la
obtención del título de
Ingeniero Agrícola

AUTOR:

Ruben Dario Soto Collaguazo

DIRECTOR :

Ing. Miguel Ángel Villamagua Mg.Sc.

LOJA-ECUADOR

2022

CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Loja, 01 de Abril del 2021

Ing. Miguel Ángel Villamagua. Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del trabajo de titulación de grado titulado: **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS EN EL SISTEMA DE RIEGO AGUARONGO-ZAÑE DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA”**, de autoría del estudiante Ruben Dario Soto Collaguazo, previa a la obtención del título de Ingeniero Agrícola, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.



Ing. Miguel Ángel Villamagua. Mg.Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACION

AUTORÍA

Yo, Ruben Dario Soto Collaguazo, declaro ser el autor del presente trabajo de titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi trabajo de titulación en el Repositorio Institucional- Biblioteca Virtual.



Firmado electrónicamente por:

**RUBEN DARIO
SOTO
COLLAGUAZO**

Firma:

Cédula de identidad: 1150457933

Fecha: 13 de Abril del 2022

Correo electrónico: rdsotoc@unl.edu.ec

Celular: 0992373941

CARTA DE AUTORIZACION DEL TRABAJO DE TITULACIÓN POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACION ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo, Ruben Dario Soto Collaguazo declaro ser autor del trabajo de titulación titulado “**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS EN EL SISTEMA DE RIEGO AGUARONGO-ZAÑE DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA**”, como requisito para optar al grado de: Ingeniero Agrícola, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

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

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del trabajo de titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los trece días de Abril del dos mil veinte y dos.



Firmado electrónicamente por:
**RUBEN DARIO
SOTO
COLLAGUAZO**

Firma:

Autor: Ruben Dario Soto Collaguazo

Cédula: 1150457933

Dirección: Gonzanamá.

Correo electrónico: rdsotoc@unl.edu.ec

Telefono:

Celular: 0992373941

DATOS COMPLEMENTARIOS:

Director del trabajo de titulacion: Ing. Miguel Angel Villamagua Mg. Sc.

Tribunal de Grado:

Ing. Pedro Manuel Guaya Pauta Mg.Sc. (Presidente)

Ing. Jimmy Javier Cordero Jiménez Mg.Sc. (Vocal)

Ing. Diego Fernando Chamba Zaragocin Ph.D. (Vocal)

DEDICATORIA

A Dios por quererme tanto y por lo que me dado desde el primer día de mi vida hasta este momento, gracias a él tuve al mejor padre, amigo Angel Salvador Soto, lamentando su partida sé que desde el cielo me acompañara todos los días, a mi querida madre María Piedad Collaguazo, por enseñarme a salir de los momentos más difíciles.

A mis hermanos: Marlene, Angel, Cristina y Juan Soto Collaguazo por estar en cada proceso de mi formación; a mis hermanos políticos Carina Ramos y Rolando Quezada; a mi abuelo José Soto; a mis sobrinos Luis, Omar y Mateo Quezada Soto; Jairo y Patricia Soto Ramos; Karen y Fernando Herrera Soto; a mis primos, tíos y además familiares.

A mis compañeros y amigos de aula en especial a Fanny Rodríguez, Ximena Mera y Valeria Condo por haber compartido gratos momentos

Ruben Dario Soto Collaguazo

AGRADECIMIENTO

A la gloriosa Universidad Nacional de Loja, a la Facultad Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables y de manera fraternal a la carrera de Ingeniería Agrícola, con toda su planta docente por haberme formado como persona y profesional para el servicio de la sociedad.

Mi agradecimiento al Ing. M. Sc. Miguel Ángel Villamagua, director de la presente investigación, quien con sus conocimientos, experiencia profesional y calidez humana ha revisado y aportado sus valiosas sugerencias para el correcto desarrollo de la presente tesis.

De igual manera agradezco la colaboración de la Ing. Fernanda Livisaca, Ing. Diana Iñiguez, Ing. Luis Angamarca, Ing. Max González, Ing. Andrea Paccha, Ing. Karina Tandazo, Ing. Adriana Puga, Ing. Luis Montalván, por brindarme su apoyo, conocimientos, paciencia y predisposición para realizar cada una de las actividades propuestas, para desarrollar mi tesis profesional.

A los usuarios del sistema de riego Aguarongo-Zañe sector La Dolorosa quienes con su buena voluntad prestaron sus predios para la ejecución este proyecto.

A los Señores Miembros del Tribunal Calificador de tesis, por sus importantes sugerencias. A todos quienes han participado y brindado su apoyo de manera desinteresada.

Ruben Dario Soto Collaguazo

ÍNDICE

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
AUTORÍA.....	iii
CARTA DE AUTORIZACION	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS	xiii
1. Título.....	1
2. Resumen.....	2
2.1. Abstract.....	3
3. Introducción	4
4. Marco Teórico.....	6
4.1. Propiedades físicas del suelo.	6
4.1.1. Textura.....	6
4.1.2. Estructura del suelo.....	6
4.1.3. Consistencia.....	7
4.1.4. Color.....	9
4.1.5. Densidad Real.....	10
4.1.6. Densidad Aparente.....	10
4.1.7. Porosidad.....	11
4.2. Contenido de agua del suelo.....	12
4.3. Energía del agua en el suelo.....	12
4.3.1. Potencial agua en el suelo.....	13

4.4. Curva característica de humedad del suelo.....	14
4.4.1. Factores que determinan la forma de la curva característica de humedad del suelo. ...	16
4.4.2. Puntos importantes de la curva de retención de humedad del suelo.....	16
4.5. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.....	18
4.6. Movimiento del agua en el suelo.	18
4.6.1. Movimiento de agua en suelos no saturados.....	19
5. Metodología.....	24
5.1. Ubicación política, geográfica y características biofísicas de Chuquiribamba.....	24
5.1.1. Clima.....	24
5.2. Ubicación del Sistema de riego Aguarongo.....	25
5.2.1. Suelos.....	26
5.2.2. Infraestructura de riego.	26
5.2.3. Superficie de la tierra.	27
5.3. Localización de la zona de estudio.	27
5.4. Materiales y Métodos para evaluar físicamente los suelos de la zona de estudio.....	28
5.4.1. Materiales.....	28
5.4.2. Metodología para evaluar físicamente los suelos de los dos primeros horizontes en función de la pendiente y uso del suelo en el sistema de riego Aguarongo.....	29
5.4.3. Metodología para determinar la velocidad de infiltración en función de la pendiente y uso del suelo del sistema del riego Aguarongo.....	30
5.4.4. Diseño experimental.	30
5.4.5. Modelo aditivo lineal.	31
5.4.6. Análisis de datos.	31
5.5. Difusión de los resultados.....	32
6. Resultado.....	33
6.1. Características morfológicas y físicas de los suelos del Sector La Dolorosa.	33
6.1.1. Perfil P1D (Uso: Maíz, pendiente del terreno: 12%).....	33
6.1.2. Perfil P2D (Uso: Maíz, pendiente del terreno: 20%).....	38
6.1.3. Perfil P3D (Uso: Pasto, pendiente del terreno: 24%)	40
6.1.4. Perfil P4D (Uso: Pasto, pendiente del terreno: 15%)	42
6.1.5. Perfil P5D (Uso: Maíz, pendiente del terreno: 42%).....	44

6.1.6. Perfil P6D (Uso: Maíz, pendiente del terreno: 44%).....	46
6.1.7. Perfil P7D (Uso: Pasto, pendiente del terreno: 44%)	47
6.1.8. Perfil P8D (Uso: Pasto, pendiente del terreno: 44%).	49
6.2. Infiltración.....	51
6.2.1. Infiltración básica.....	51
6.2.2. Relación de la infiltración con otras propiedades del suelo.....	52
7. Discusión.....	55
7.1. Efecto del uso del suelo y la pendiente del terreno sobre la condición física de la zona radicular del suelo.	55
7.1.1. Capacidad de aireación	55
7.1.2. Agua aprovechable.....	58
7.2. Velocidad de infiltración.....	61
8. Conclusiones	63
9. Recomendaciones	64
10. Bibliografía	65
11. Anexos.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores de conductividad hidráulica K_c para dos tipos de suelos y diferentes succiones.....	20
Tabla 2. Velocidad estabilizada de infiltración para diversos tipos de suelos.....	23
Tabla 3. Categorías de la infiltración básica.....	23
Tabla 4. Distribución anual de las precipitaciones medias mensuales	25
Tabla 5. Ubicación de los módulos del sistema de riego Aguarongo-Zañe.....	27
Tabla 6. Ubicación y características de los seis perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.....	28
Tabla 7. Factores y niveles de estudio dentro del diseño bifactorial completamente al azar	30
Tabla 8. Esquema del análisis de varianza para el diseño bifactorial completamente al azar con dos factores.....	32
Tabla 9. Retención de humedad en el rango de pF 0,0 a pF 4,20 de los dos primeros horizontes de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe	34
Tabla 10. Capacidad de aireación, agua aprovechable, volumen físicamente inerte y zona del diagrama triangular, de los dos primeros horizontes de los ocho perfiles, para diferentes usos de suelo y rangos de pendiente del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego de Aguarongo – Zañe.....	35
Tabla 11. Infiltración básica de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno, determinada con cilindros infiltrometros en el Sector La Dolorosa del Sistema de Aguarongo –Zañe	52
Tabla 12. Prueba de Tukey para la capacidad de aireación del factor uso del suelo del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	57
Tabla 13. Prueba de Tukey para la capacidad de aireación del factor uso del suelo del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	57
Tabla 14. Prueba de Tukey para la capacidad de aireación del factor pendiente del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	58

Tabla 15. Prueba de Tukey para la capacidad de aireación del factor pendiente del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	58
Tabla 16. Prueba de Tukey para el agua aprovechable del factor uso del suelo del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	60
Tabla 17. Prueba de Tukey para el agua aprovechable del factor uso del suelo del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	60
Tabla 18. Prueba de Tukey para el agua aprovechable del factor pendiente del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe .	60
Tabla 19. Prueba de Tukey para el agua aprovechable del factor pendiente del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	61
Tabla 20. Prueba de Tukey de la Velocidad de infiltración del factor uso del suelo de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	62
Tabla 21. Prueba de Tukey de la velocidad de infiltración del factor pendiente del suelo de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la humedad del suelo en su consistencia	8
Figura 2. Curva de contenido de humedad	15
Figura 3. Ubicación geográfica de la parroquia Chuquiribamba.....	24
Figura 4. Esquema del muestreo aleatorio.....	31
Figura 5. Perfil P1D	33
Figura 6. Perfil P2D	38
Figura 7. Perfil P3D	40
Figura 8. Perfil P4D	42
Figura 9. Perfil P5D	44
Figura 10. Perfil P6D	46
Figura 11. Perfil P7D	48

Figura 12. Perfil P8D	50
Figura 13. Regresión lineal entre la velocidad de infiltración básica y la densidad aparente de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe	53
Figura 14. Regresión lineal entre la velocidad de infiltración básica y la porosidad total de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	54

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo. 1: Oficio de aprobación y designación de director del trabajo de titulación.....	71
Anexo. 2: Triangulo de textura.	72
Anexo. 3: Diagrama triangulo para la para la evaluación de las condiciones físicas del suelo....	73
Anexo. 4: Esquema de los ramales del sistema de riego Aguarongo-Zañe.	74
Anexo. 5: Mapa de pendientes de la parroquia de Chuquiribamba.	75
Anexo. 6: Localización de la zona de estudio.....	76
Anexo. 7: Medición de la pendiente en Pasto y maíz con el clinómetro.	77
Anexo. 8: Ficha de Descripción de los Perfiles de Suelos del Sector La Dolorosa en los Sitios Seleccionados en Función del Uso del Suelo y la Pendiente del Terreno.	77
Anexo. 9: Análisis del material parental en la zona de estudio.	89
Anexo 10: Análisis de los contenidos de humedad de los perfiles del sistema de riego Aguarongo-Zañe sector La Dolorosa.	92
Anexo. 11: Análisis e interpretación de la textura de los perfiles del sistema de riego Aguarongo-Zañe sector La Dolorosa.	93
Anexo. 12: Pruebas de infiltración en el uso pasto y maíz.	94
Anexo. 13: Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo.	95
Anexo. 14: Planificación del evento de difusión de resultados.	97
Anexo. 15: Curvas de retención de humedad del primer horizonte de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendientes del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.	98
Anexo. 16: Curvas de retención de humedad del segundo horizonte de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.	99
Anexo. 17: Análisis de varianza de la capacidad de aireación del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	99
Anexo. 18: Análisis de varianza de la capacidad de aireación del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	100
Anexo. 19: Análisis de varianza del agua aprovechable del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	100

Anexo. 20: Análisis de varianza del agua aprovechable del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.....	100
Anexo. 21: Curvas de infiltración acumulada de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelos y rangos de pendiente del terreno en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego de Aguarongo – Zañe.....	101
Anexo. 22: Análisis de varianza de la velocidad de infiltración de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.	101

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS EN EL SISTEMA DE RIEGO AGUARONGO - ZAÑE DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA”.

2. Resumen.

El presente estudio se realizó en el Sector La Dolorosa perteneciente al sistema de riego Aguarongo – Zañe ubicado en la parroquia de Chuquiribamba. Entre los usos principales de sus suelos está el maíz con 32,64%, pasto 34,52%, cebolla verde 18,25%, hortalizas 6,70% y papa 2,88%. Los bajos niveles de la producción se presentan por la baja capacidad de aireación de sus suelos producto de la labranza, uso intensivo de pastura y de su textura franco arcillosa; también por la aplicación del agua en la parcela, mediante pequeños sistemas de aspersion instalados por los propios usuarios, desconociendo la base científica de cuándo y hasta cuando regar, produciendo la erosión de los suelos. El objetivo consistió en conocer las propiedades físicas de los suelos a través de la curva del pF y la infiltración, para el diseño de los sistemas de riego a presión, optimizando el uso del agua consecuentemente el incremento de la productividad de los cultivos de pastos y maíz. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con estructural bifactorial 2x2; el Factor A usos del suelo: maíz y pasto y el Factor B a las pendientes (8-25%; 25-58%), con 2 repeticiones. Las condiciones físicas del suelo para el uso pasto y maíz en la primera capa se ubicó en la categoría de muy pobre a medio; en el segundo horizonte las condiciones físicas se encuentran en el rango de muy pobre a pobre; el uso maíz presenta los mejores contenidos en CA y AA, mientras la velocidad de infiltración se encuentra en el rango lenta a media.

Palabras claves: *Propiedades físicas del suelo, capacidad de aireación, agua aprovechable, velocidad de infiltración.*

2.1. Abstract

The present work was carried at the “Dolorosa” sector which belongs Aguarongo – Zañe irrigation system located in the Chuquiribamba parish. Principals land use are corn with 32,64%, grass 34,52%, green onion 18,25%, green vegetable 6,70% and potato 2,88%. The low production levels are presented by the poor aeration soils as result of farming, intensive uses of overgrazing and its clear clay soil texture, also, by the water application in the small plot through sprinkler irrigation systems installed by the own usuries, unaware the scientific base about when and until when water, producing the soil erosion. The objective consisted in knowing the physic property of soils through the curve the fusion points pF and the infiltration, for the model of pressure irrigation system, optimizing the water use consequently the increase of productivity the grass farming and corn. It was used a model completely randomly 2x2: The factor A soil use: corn and grass, and the factor B the pending (8-25%; 25-58%), with 2 repetitions. The physic conditions of soil for the grass and corn use in the first area placed in the so poor to average category; in the second area, the physic conditions locate in the so poor to poor category, the corn use presents the best contents in CA and AA, while the infiltration speed locates in a slow to average category.

Key words: soil physical properties, airing capacity, useful water, infiltration speed

3. Introducción

La degradación de los suelos se debe a los eventos extremos de precipitación, pendientes pronunciadas, como también a las características intensivas de labranza del suelo (Foley *et al.*, 2005 citado por Blum 2013). Así mismo, el uso intensivo de pasturas ocasiona la reducción de la calidad física y química del suelo, aumentando la densidad aparente y la resistencia mecánica a la penetración y reduciendo la macroporosidad de los suelos (Lanzanova *et al.* 2007). A los anteriores problemas se les podría agregar alteraciones graves producidas por el mal manejo del riego (Jarramillo, 2002).

La mayor parte del consumo de agua del Ecuador se destina al riego, estimándose su uso en un 80% del consumo total; no obstante, las pérdidas en la captación, conducciones primarias, secundarias y terciarias y en el ámbito de parcela, hacen que las eficiencias varíen entre el 15% y 25%. Estas pérdidas en la eficiencia del agua de riego también se deben a características físicas y químicas del suelo y por las técnicas de riego que suelen usar los agricultores, especialmente en sectores donde la superficie se caracteriza por tener fuertes pendientes. Esta característica es muy recurrente en la región andina y especialmente en la provincia de Loja (Josse, 2000; citado por Pauta, 2019).

En la provincia de Loja, los sistemas de riegos en su mayoría siguen empleando cantidades excesivas de agua por hectárea, con métodos de riego que degradan a los suelos (riego por gravedad en terrenos inclinados) (Cobos, 2019). Otros problemas en la provincia sobre la erosión de los suelos es la combinación de la distribución de las lluvias, la topografía irregular, la destrucción del bosque natural para la producción de cultivos anuales y la ganadería extensiva (Valarezo *et al.*, 1998).

En el sistema de riego Aguarango los suelos presentan pendientes: de 0 al 8% ligeramente inclinada que cubre una superficie de 3,12 ha, del 8 al 25% laderas medianamente escarpado con 40,46 ha de superficie, del 25 – 58% laderas escarpadas con 36,78 ha de superficie y finalmente mayor al 58% fisiográficamente escarpadas con una superficie de 17,53 ha (Gobierno Provincial de Loja, 2018).

Los cultivos más representativos en el sistema de riego Aguarongo se destacan el maíz, pasto, fréjol, hortalizas (col, lechuga, brócoli, acelga, entre otras), hierbas medicinales-aromáticas y

frutas (reina claudia, naranja, mandarina, entre otros) (Pauta, 2019). Del total producido aproximadamente un 51,80% lo destina al autoconsumo, el 9,40% lo expenden en ferias libres y el 38,80% lo comercializan en mercados de la ciudad de Loja (Gobierno Provincial de Loja, 2018).

Entre los usos principales de los suelos está el maíz con 32,64% con una superficie de 26,23 ha, el pasto para ganado vacuno y cobayos (cuyes), misma que cubre una superficie de 27,74 ha (34,52%), debido posiblemente al pastoreo practicado de forma rudimentaria y sin ningún manejo agrotécnico, ha generado la degradación de los suelos en términos de calidad, así como cambios en la estructura y la fertilidad física como consecuencia del pisoteo, otros usos principales son: la cebolla verde con 18,25% (14,67 ha), hortalizas 6,70% (5,38 ha) y papa 2,88% (2,31 ha)(Pauta, 2019).

En los actuales momentos la aplicación del agua de riego a la parcela, se realiza mediante sistemas de riego por aspersión que han sido instalados empíricamente por los propios usuarios (Gobierno Provincial de Loja, 2018), desconociendo la base científica de cuándo y hasta cuando regar, generando los siguientes problemas en el suelo: erosión de los suelos, deslizamientos en masa, debido a filtraciones internas del agua de riego, procesos de formación de cárcavas y de inestabilidad total de las áreas de riego (Valarezo, 2017).

Por los motivos antes expuestos para la presente investigación se planteó el siguiente objetivo general *“Conocer las propiedades físicas de los suelos a través de la curva del pF y la infiltración, para el diseño de los sistemas de riego a presión, optimizando el uso del agua consecuentemente el incremento de la productividad de los cultivos de pastos y maíz.”* Para dar respuesta a este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar físicamente los suelos en función de la pendiente y uso en el sistema de riego Aguarongo - Zañe. Sector “La Dolorosa”
- Determinar la velocidad de infiltración en los suelos del sector “La Dolorosa”.

4. Marco Teórico.

4.1. Propiedades físicas del suelo.

Un suelo con buenas características físicas debe contener suficientes espacios porosos entre las partículas minerales y orgánicas y entre los agregados del suelo, con el fin de garantizar el adecuado suministro de agua, aire y nutrientes a las raíces de las plantas (Luna, 2006). A continuación, se describen las propiedades físicas más importantes del suelo:

4.1.1. Textura.

Es una de las propiedades más importantes del suelo y que incide en muchas otras características o propiedades de los suelos. En el riego y el drenaje, la textura juega un papel fundamental, en el cálculo de láminas de riego, de lavado, en el proyecto y diseño de sistemas de riego y de drenaje (Cisneros, 2003).

Los suelos se clasifican en arenosos, limosos y arcillosos, según el componente predominante. Las partículas de arena tienen diámetros entre 2 y 0.02 mm, limo entre 0.02 y 0.002 mm y las de arcilla son menores de 0.002 mm según la clasificación del Sistema Internacional (Cadena, 2016). Para determinar la clase textural del suelo, los resultados se interpretan a través del Triángulo de Textura, se puede distinguir doce clases texturales (Anexo 1).

La textura está relacionada con la retención del agua, con la velocidad de infiltración, la absorción de nutrientes y el manejo del suelo. Los suelos arcillosos tienen alta capacidad de retención del agua, baja velocidad de infiltración, mayor capacidad de absorción de nutrientes por lo que usualmente son más fértiles; pero son más difíciles de trabajar, en estas circunstancias los riegos deben hacerse con caudales grandes y más distanciados en cuanto a su frecuencia los suelos de textura arenosos, tienen en cambio baja capacidad de retención de humedad, alta velocidad de infiltración, menor capacidad de absorción de nutrientes lo que les hace menos fértiles, son más fáciles de trabajar estos terrenos tienen, que regarse rápido, con menor caudal y con mayor frecuencia (Cadena, 2016).

4.1.2. Estructura del suelo

La estructura del suelo constituye el modo particular de agrupación o acomodo de las diferentes partículas sólidas del suelo, formando agregados. Esto influye tanto en las relaciones suelo-agua-

planta como en el régimen de aeración del suelo y en el almacenamiento de sustancias nutritivas (Vásquez *et al.*, 2017).

La estructura se clasifica de acuerdo a los siguientes aspectos.

- Tipo y subtipo de estructura, según la forma general y la ordenación de los agregados.
- La clase de estructura, según el tamaño de los agregados
- El grado de estructura, determinado por la distinción y durabilidad de los agregados (Giménez, s.f.).

Según Giménez, (s.f.) se reconocen cuatro tipos primarios de estructura, con sus respectivos subtipos, a saber:

- Bloque: partículas dispuestas alrededor de un punto y limitadas por superficies lisas o redondas.
- Bloques angulares: cuando los bloques se encuentran limitados por planos que se interceptan en ángulos relativamente agudos. Bloques subangulares: cuando los bloques presentan caras redondeadas y planas con vértices, en su mayoría, redondeados.
- Esferoidal: las partículas se encuentran alrededor de un punto, limitadas por superficies convexas o muy irregulares que no se acomodan a los agregados laterales. Granular: relativamente no poroso. Migajoso: relativamente poroso.
- Prismática: semejantes a prismas, con las partículas arregladas alrededor una línea vertical y limitadas por superficies verticales relativamente lisas. Prismática: sin los extremos superiores redondeados. Columnares: con los extremos superiores redondeados.
- Laminar: con las partículas dispuestas alrededor de un plano horizontal (Giménez, s.f.).

4.1.3. Consistencia.

La consistencia es la resistencia del suelo a ser deformado por las fuerzas que se aplican sobre él. Esta propiedad del suelo lo definen el contenido de humedad, materia orgánica del suelo y tipos de arcilla. La estabilidad estructural también es un componente importante de la resistencia del suelo (Jarramillo, 2002).

Esta propiedad está muy relacionada con el laboreo del suelo y, por ende, sobre sus efectos en él como la compactación, el encostramiento superficial y la reducción del espacio vacío disponible para el desarrollo de las raíces (Valarezo, 2012).

Son varios los estados de consistencia que presenta el suelo y dependen del contenido de humedad del suelo. Los estados de consistencia reflejan la relación en que se encuentran las fuerzas de cohesión (atracción entre partículas o moléculas de la misma sustancia) y de adhesión (atracción entre sustancias o partículas heterogéneas) en el suelo (Jaramillo, 2002) (Figura 1).

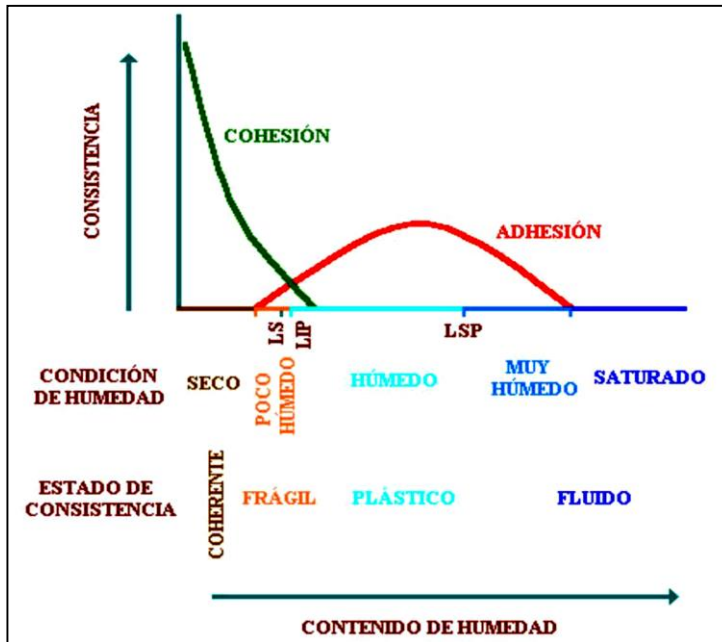


Figura 1. Efecto de la humedad del suelo en su consistencia
Fuente: Jaramillo, 2002

4.1.3.1. Estados de consistencia del suelo.

Según Jaramillo, (2002) los estados de consistencia son los siguientes:

- Estado coherente: Se presenta cuando el suelo está seco, físicamente se presenta como terrones de extrema dureza (suelo cohesivo), cuando este no es arenoso, o por partículas sueltas, en suelos arenosos (suelo no cohesivo).
- Estado friable o de fragilidad: Se presenta al aumentar el contenido de humedad del suelo hasta sobrepasar los límites del estado coherente, pero sin que se acumule tanta agua que las películas de ella que rodean las partículas sólidas creen fuerzas de adhesión dominantes en el sistema.
- Estado plástico: Es el rango de humedad del suelo en el cual se deja moldear y conserva las deformaciones que le ocasionan fuerzas extrañas, está comprendido entre el límite inferior de plasticidad (LIP) y el límite superior de plasticidad (LSP) o límite líquido (LL) y es el rango en el cual se presentan las mayores fuerzas de adhesión.

- Estado de fluidez: Se presenta cuando el suelo sobrepasa el contenido de humedad del límite líquido y empieza a fluir por su propio peso.

4.1.4. Color.

El color del suelo es una característica morfológica y su importancia radica en que este nos permite identificar y diferenciar horizontes y tipos de suelo; a más de ello el color del suelo refleja las condiciones a las que ha estado expuesto determinado suelo como son: clima, lluvia, procesos químicos, meteorización, abundancia o escases de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato (Rucks *et al.*, 2004).

El color es probablemente la característica más evidente, cuando se observa la superficie o el perfil de un suelo y constituye su respuesta a la radiación electromagnética en la región visible del espectro. Es además, una característica muy utilizada por el edafólogo para obtener información sobre la génesis del suelo y sobre sus propiedades físicas y químicas Jarramillo, 2002.

Según Moreno, Gilbert, & Ibañez (s.f.) el sistema de notación del color se basa en la determinación de 3 parámetros diferentes:

4.1.4.1. Matiz

Representa al color espectral puro correspondiente a una determinada longitud de onda, es decir, expresa la longitud de onda dominante en la radiación reflejada. Así pues, se consideran 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.

4.1.4.2. Croma o pureza

Expresa la pureza relativa del color del matiz de que se trate. La pureza 0 correspondería al color gris, de modo que si la pureza se anula el matiz carece de importancia porque no existe. En este caso se utiliza la letra N de neutro sin asignar valor de pureza. Este parámetro está directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica acumulada en el suelo.

4.1.4.3. Intensidad o brillo

Expresa la proporción de la luz reflejada y representa la amplitud de la radiación midiendo al fin y al cabo el grado de claridad u oscuridad. Para un matiz N, la pureza 0 representa al negro y la 10 al blanco.

El color por tanto se describirá mediante estos parámetros, tanto en seco como húmedo, apoyándonos en las tablas de notaciones de color Munsell.

4.1.5. Densidad Real.

Se la denomina densidad de los sólidos o densidad de las partículas del suelo, se refiere a la relación entre la masa total de las partículas sólidas y su volumen, excluyendo el espacio poroso existente entre ellas (Vásquez *et al.*, 2017).

$$Dr = \frac{Ms}{Vs}$$

Donde:

Dr= Densidad real (g.cm⁻³).

Ms= Masa de sólidos (g).

Vs= Volumen de sólidos.

En la determinación de la densidad de las partículas del suelo, solamente se considera las partículas de los sólidos; consecuentemente la densidad de las partículas de cualquier suelo es una constante, puesto que no varía con el volumen entre las partículas (Vásquez *et al.*, 2017).

En la mayoría de los suelos minerales, la densidad media de las partículas esta entre 2,60 y 2,70 g.cm⁻³, siendo en consecuencia cercana a la densidad del cuarzo, el cual a menudo predomina en los suelos arenosos; no obstante, las arcillas silíceas tienen una densidad similar al cuarzo (Valarezo *et al.*, 2017).

4.1.6. Densidad Aparente.

La densidad aparente describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller & Håkansson, 2010). También determina un ambiente adecuado para el desarrollo de las raíces vegetales, además del ingreso y almacenamiento óptimo del agua necesaria para el crecimiento de las plantas (Taboada & Álvarez, 2008).

El valor de la densidad aparente es menor a la densidad real (D_r). Si los poros constituyen la mitad del volumen total del suelo, el valor de la densidad aparente estará entre 1,30 y 1,35 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$. En suelos no cultivados varia generalmente entre 1,00 y 1,60 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, para suelos arenosos puede llegar a 1,60 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, mientras que, en los suelos francos y arcillosos se encuentra en 1,10 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (Valarezo *et al.*, 2017).

La densidad aparente se define como la masa de suelo por unidad de volumen ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ o $\text{t}\cdot\text{m}^{-3}$).

$$D_a = \frac{M_s}{V_t} = \frac{M_s}{(V_s + V_a + V_w)}$$

Donde:

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

M_s = Masa de sólidos (g)

V_t = Volumen total (cm^3)

V_a = Volumen de aire (cm^3)

V_w = Volumen de agua (cm^3)

4.1.7. Porosidad

La porosidad total del suelo es el volumen de éste que no está ocupado por sólidos; es el volumen que hay disponible en el suelo para los líquidos y los gases (Jarramillo, 2002).

Las partículas constituyentes del suelo varían en tamaño, forma, regularidad, entre otras características, los poros difieren considerablemente unos de otros en forma, dimensiones laterales, longitudinales, etc.

Se pueden evaluar dos parámetros: la porosidad total y la distribución del tamaño de poros; en donde el primero corresponde al índice del volumen relativo de poros, es decir, la relación entre el espacio poroso y el volumen total de una muestra inalterada (Valarezo *et al.*, 2017).

$$P = \frac{V_p}{V_t} = \frac{(V_a + V_w)}{(V_s + V_a + V_w)}$$

Donde:

P_o = Porosidad total.

V_p = Volumen de poros.

V_t = Volumen total de poros

La porosidad total se la obtiene mediante los valores D_r y D_a , mediante la siguiente ecuación:

$$P = 1 - \frac{D_a}{D_r}$$

La porosidad del suelo varía según el grado de desarrollo y el tipo de estructura que posee. Normalmente, los suelos mejor estructurados, con un contenido apreciable de arcilla y materia orgánica poseen una porosidad en torno al 60%. Los suelos compactados por presión o cementados poseen valores muy bajos de porosidad. Además, está relacionada íntimamente con otras propiedades del suelo: textura, estructura, humedad, etc. (Lopez, 2007).

4.2. Contenido de agua del suelo.

La cantidad de agua que posea el suelo es una de sus características más específicas y está determinada, fundamentalmente, 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 que se le haga natural (lluvia) o artificialmente (riego) de ella, así como por el consumo causado por la evapotranspiración (Jarramillo, 2002).

El agua del suelo está sometida a campos de fuerzas de distinto origen. Identificar correctamente cada una de estas fuerzas es difícil. El estado energético predice el comportamiento del agua del suelo.

En el suelo, el agua está sometida a diferentes campos de fuerzas, como la acción de la gravedad y a las fuerzas capilares, osmóticas o de absorción, que condicionan el movimiento o la retención del agua en el suelo (Lopez, 2007).

4.3. Energía del agua en el suelo

La principal característica física del suelo es el estado energético en que se encuentra el agua contenida en él. Los fenómenos en los que está involucrada el agua del suelo - envuelven las relaciones entre el contenido de humedad, su estado energético y los procesos de gradiente energéticas en el sistema suelo-agua-planta. En consecuencia, no es la cantidad absoluta de energía

potencial “contenida” en el agua la que tiene importancia por sí misma; sino, más bien, el nivel relativo de aquella energía en diferentes regiones del suelo.

El conocimiento del estado energético relativo del agua del suelo, en cada punto dentro de este, permite evaluar las fuerzas que están actuando sobre el agua del suelo en todas direcciones y determinar a qué distancia se encuentra el agua al llegar a un estado de equilibrio (Porta et al., 2014).

4.3.1. Potencial agua en el suelo

El agua está en constante movimiento en el suelo, pero para que este movimiento exista es necesario la presencia de energía, energía que como sabemos puede ser cinética o puede ser energía potencial, la primera puede despreciarse, ya que depende de la velocidad del agua en el suelo y esta es muy lenta; por lo que podemos decir que el movimiento del agua en el suelo se debe a la energía potencial, llamada simplemente potencial o tensión del agua; la misma que se expresa en términos de presión (atmósfera, bares , kg.cm^{-2} , mca), es decir que el movimiento del agua en el suelo se debe a diferencias de presión (Villafáfila & Wyss, 2009).

Al moverse el agua por los poros del suelo interacciona con las partículas sólidas (matriz del suelo) y con los iones en disolución quedando sometidas a un conjunto de fuerzas., además el agua está sometida a la acción de la gravedad y otras fuerzas externas. Las fuerzas actuantes son: gravedad, derivadas de la matriz sólida, derivadas de los iones en disolución, externas (presión hidrostática, presión de los gases en disolución) (Calvache, 1998).

Cada una de estas fuerzas dan lugar a un potencial parcial que actúan con independencia unas de otras siendo una magnitud escalar, se pueden descomponer en suma algebraica de tantos componentes como fuerzas distintas contribuyen al potencial total, y así isotérmico las constituyen los siguientes componentes (Calvache, 1998).

$$\Psi_T = \Psi_p + \Psi_s + \Psi_m + \Psi_o$$

Dónde: Ψ_T = potencial total del agua en el suelo.; Ψ_p = potencial de presión.; Ψ_g = potencial gravitacional.; Ψ_m = potencial matricial; Ψ_o = potencial osmótico.

Según Silva, Acevedo, & Silva (2000) describe cada uno de los componentes del potencial hídrico:

- **Potencial gravitacional (ψ_g):** Es el trabajo que se realiza al trasladar una cantidad infinitesimal de agua respecto a un nivel de referencia. Este potencial dependerá de un nivel de referencia, pudiendo ser positivo o negativo, sobre o bajo el nivel de referencia respectivamente.
- **Potencial de presión (ψ_p):** Está referido a la presión atmosférica. Pudiendo ser positivo (en la presencia de una columna de agua, en la presión que ejerce la vacuola en contra de la pared celular conocido como potencial negativo (disminución de la energía del agua por la matriz del suelo).
- **Potencial mátrico (ψ_m):** Es la reducción de energía libre del agua debido a las fuerzas de cohesión y adhesión entre moléculas de agua-agua y agua-sólido. La magnitud en que disminuye la energía libre es función del radio efectivo de los poros, a mayor radio efectivo mayor es el potencial mátrico. Se mide con tensiómetros (de bourdon o de mercurio) o con bloques de yeso, su valor es cero o negativo.
- **Potencial de solutos (ψ_s) o potencial osmótico (ψ_o):** 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.

4.4. Curva característica de humedad del suelo.

Representa la relación existente entre el potencial total del agua del suelo y el contenido de humedad del mismo, en un amplio rango de tensiones, esta relación tiene una dependencia muy grande de la textura del suelo. Es una herramienta indispensable en el manejo de riegos y sirve para establecer controles en el campo, utilizando generalmente los tensiómetros. (Jarramillo, 2002).

En la curva se ve que suelos de diferente textura presentan diferentes curvas de retención de humedad. Así, por ejemplo, al aplicar 1 bar de succión (100cb), el porcentaje de agua extraída es de 25% en el suelo arcilloso y alrededor del 82% en un suelo franco arenoso, y a la inversa, para extraer un 50% de agua se requiere una energía de 2,20 bares en el suelo arcilloso y 0,22 bares en suelo franco arenoso, lo que quiere decir que, a igualdad de contenido de humedad, los diferentes suelos retienen el agua con distinta energía (Cadena, 2016).

Según Vázquez *et al.*, (2017), la curva de retención tiene dos límites bien definidos:

- El límite húmedo que está determinado por el nivel freático. En esta condición, todos los poros se encuentran llenos de agua; y el potencial del agua estará definido, básicamente, por el potencial osmótico; ya que los otros potenciales son iguales a cero.
- El límite seco que está definido por el punto correspondiente de tierra seca; es decir, por el nivel de humedad correspondiente a un estado energético de 10^4 bares (Figura 2).

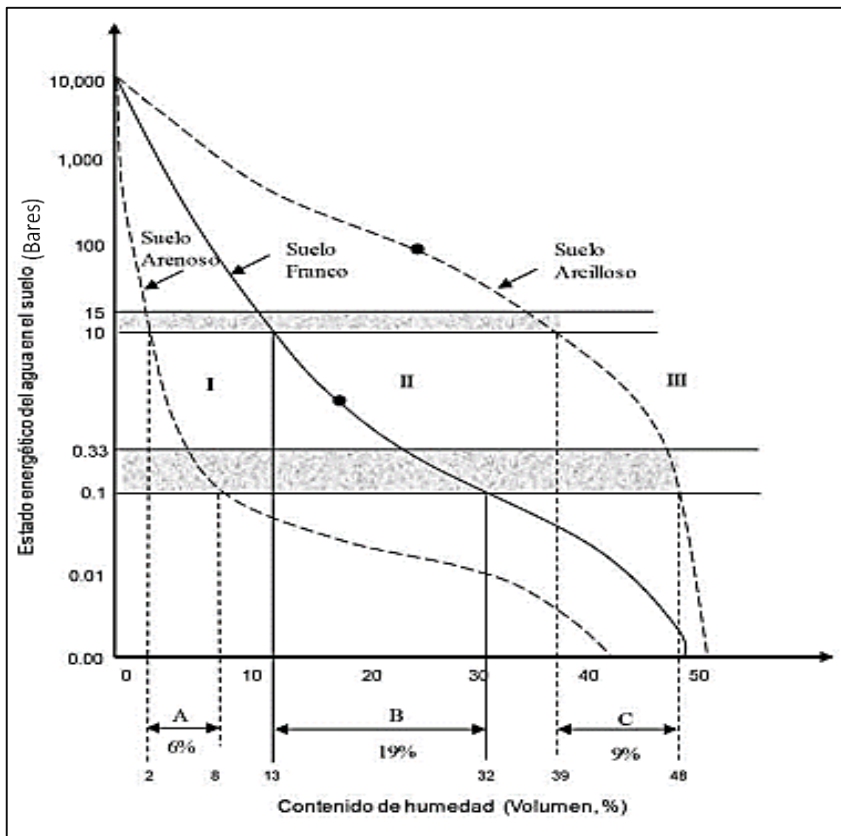


Figura 2. Curva de contenido de humedad

Fuente: Vázquez *et al.*, 2017.

Desde el punto de vista del riego de los cultivos interesan 2 puntos claves:

La capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. La capacidad de campo corresponde a un estado energético del agua en el suelo entre 0,10 y 0,30 bares, dependiendo del tipo de suelo y cultivo; mientras que el punto de marchitez permanente corresponde a un estado energético entre 15 a 16 bares dependiendo del tipo de suelo y cultivo; estas cifras representan a valores negativos, pues expresan el nivel de succión o retención del agua por el suelo, pero que,

por fines prácticos, normalmente se expresan como si se tratasen de cifras positivas (Vázquez *et al.*, 2017).

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

La cantidad de agua retenida a valores relativamente bajos de succión métrica (0 a 1 bares), dependen primeramente del efecto capilar y de la distribución del tamaño de poros; en consecuencia, es fuertemente afectada por la estructura del suelo. Por otro lado, la retención de agua en el rango más alto de succión en forma creciente se debe a la adsorción, siendo, por consiguiente, menos afectada por la estructura, pero más por la textura; en otras palabras, por la superficie específica del material del suelo.

La relación de la curva característica de humedad del suelo con la textura, se la determina 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, la mayoría de 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.

También 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.

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).

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

4.4.2.1. Capacidad de campo (CC).

Es el contenido de agua de un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración. Corresponde

aproximadamente al contenido de agua del suelo a una tensión o potencial mátrico del agua de - 0,33 bares. Normalmente este contenido de agua se toma alrededor de 24 a 48 horas después de un riego o lluvia abundante, teniendo la precaución de cubrir el suelo con un plástico para evitar la evaporación (Reinoso, 2011).

El suelo con un contenido de humedad a capacidad de campo presenta las mejores condiciones para el crecimiento de los cultivos, por las siguientes razones:

- El suelo retiene al agua con una pequeña fuerza, de manera que las plantas pueden tomarla fácilmente.
- El suelo contiene aire, que las plantas utilizan para respirar (Reinoso, 2011).

4.4.2.2. Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de humedad del suelo en el cual la planta manifiesta síntomas de marchitamiento, caída de hojas, escaso desarrollo o fructificación, debido a un flujo muy lento de agua del suelo hacia la planta; y que, en promedio, corresponde a un estado energético de 15 bares cercano a este valor dependiendo del tipo de cultivo (Vázquez *et al.*, 2017).

4.4.2.3. Agua aprovechable (AA).

Se define como el contenido de humedad que el suelo es capaz de retener entre los límites conocidos como “capacidad de campo” y “punto de marchitez permanente”.

Es decir, entre valores de tensión de 0,30 y 15 atmósferas, lo que nos indica que el esfuerzo que hace una planta para disponer de agua a capacidad de campo es mucho menor que a punto de marchitez.

Cuando la humedad de un suelo se sitúa cerca al valor del punto de marchitez dependiendo de la especie y la etapa fisiológica del cultivo se tendrá disminución de la producción.

La dificultad de la planta para aprovechar esta agua aumenta a medida que su contenido se aproxima al punto de marchitez, por lo que conviene únicamente dejarle extraer una parte de la reserva útil antes de volver a regar (Cadena, 2016).

4.4.2.4. Capacidad de aireación (CA)

La composición del aire del suelo depende en gran manera 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% 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)

4.5. Evaluación de las condiciones físicas del suelo.

La distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo (sólida, líquida y gaseosa) a capacidad de campo, sirven para estimar la condición física del suelo en relación con el crecimiento de las plantas.

Para tal efecto se utiliza el diagrama triangular, en su base se encuentran 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 0,20 a 30 micras, considerando como capacidad campo el contenido de agua retenida a pF 2. 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.

El diagrama triangular se encuentra dividido en cinco zonas. La zona I, corresponde a una situación muy pobre de las condiciones físicas del suelo para las plantas; en tanto que las zonas V. da cabida a aquella combinación de disponibilidad de agua y aire que se considere muy buena. Las zonas II, III, IV corresponde pobre, medio y buena, respectivamente (Anexo 2) (Valarezo *et al.*, 1998).

4.6. Movimiento del agua en el suelo.

El movimiento de agua en el suelo se da cuando las condiciones de equilibrio se rompen y se generan diferencias de potencial entre los diferentes puntos del sistema.

Cuando se presenta flujo de agua en el suelo, el agua se desplaza obedeciendo a gradientes de potencial total (Ψ_T) en el mismo: Ella se desplaza desde donde está retenida con un potencial menos negativo (mayor potencial) hacia donde se presenta un potencial más negativo (menor

potencial); cuando el Ψ_T en los diferentes puntos del suelo se iguala en todos ellos, se suspende el movimiento de agua (Jarramillo, 2002).

La cantidad total de agua que entre en un suelo es mayor cuando el suelo se encuentra inicialmente seco, que cuando está húmedo, no obstante, la velocidad de avance del agua a lo largo del perfil del suelo es inferior en el caso del suelo seco.

4.6.1. Movimiento de agua en suelos no saturados.

A medida que el agua se va moviendo hay cambios en el contenido hídrico y en la succión matriz de un punto con respecto a otros, por lo tanto, también hay variaciones en el contenido de humedad. En suelos no saturados los valores de conductividad hidráulica son variables y dependen del contenido hídrico y de la succión matriz dado que el agua se mueve desde lugares más húmedos donde la succión matriz es baja hacia lugares más secos donde la succión matriz es alta (García, Sosa, & Ullivarri, s.f.).

La Ley de Darcy es utilizada para analizar el movimiento del agua en suelos no saturados. Esta Ley, para el movimiento del agua en estas condiciones, se expresa mediante la relación:

$$V = -i * K_c$$

V = Velocidad media del flujo de agua en cm.s^{-1} , mm.h^{-1} ó m.día^{-1} ;

i = Gradiente hidráulico o fuerza motriz del agua en suelos no saturados;

K_c = Conductividad capilar o conductividad hidráulica no saturada: en cm.s^{-1} , mm.h^{-1} ó m.día^{-1} .

El gradiente hidráulico en suelos no saturados es igual a la diferencia de presión hidráulica negativa entre dos puntos, dividida entre la distancia que los separa. Los valores de i pueden alcanzar hasta valores muy elevados ($> 1,000$).

La conductividad hidráulica en suelos no saturada (K_c) depende del contenido de humedad del suelo cuyo valor para un mismo suelo, va disminuyendo a medida que el suelo va secándose (Tabla 1).

Tabla 1.

Valores de conductividad hidráulica K_c para dos tipos de suelos y diferentes succiones

Succión del agua del suelo (Bares)	Conductividad capilar (K_c) (cm.h ⁻¹)	
	Suelo Arenoso	Suelo Medio
0	6.59	1.48
0.10	1.30	0.51
0.20	0.65	0.47
0.40	0.37	0.43
0.60	0.024	0.30
0.80	0.001	0.17
1.20	0.0009	0.021
2.00	0.00012	0.0121

Fuente: Vázquez *et al.*, 2017.

Se debe tomar en cuenta los procesos y fenómenos más importantes relacionados con el flujo del agua en el suelo y el ambiente de las plantas donde se desarrollan, ocurren en las condiciones de suelos no saturados; y, en consecuencia, se explican mediante las leyes del movimiento del agua en suelos no saturados (Vázquez *et al.*, 2017).

4.6.1.1. Velocidad de Infiltración.

La velocidad de infiltración nos da la capacidad del suelo de absorber agua. Al principio (cuando el suelo está más seco) la velocidad de penetración del agua en el suelo es más rápida, pero si seguimos aportando más agua, llega un momento en que esta velocidad es más o menos constante. A esta velocidad se la conoce como velocidad de infiltración (Villafáfila & Wyss, 2009).

La aplicación de la velocidad de infiltración es básica para el manejo del riego, pues este valor permite el cálculo del tiempo y el método de riego que conviene implementar (Cadena, 2016), ya que si la intensidad del riego (pluviometría) es mayor que la velocidad de infiltración, se formarán láminas de agua en la superficie del suelo (encharcamiento), lo cual genera un ambiente favorable para la difusión de enfermedades fúngicas y bacterianas. (Villafáfila & Wyss, 2009).

Algunos factores que afectan a la capacidad de infiltración del suelo son: compactación del suelo causada por el pisoteo, tráfico de maquinarias, etc., el lavado de las partículas finas en los poros de la superficie y la presencia o ausencia de grietas y fisuras, además, la vegetación y el

cultivo. El descenso en la velocidad de infiltración del agua en el suelo está dado también por la textura, estructura, contenido de humedad y nivel freático (SENA, 2013).

4.6.1.2. Medición de la infiltración

Según Pizarro et al., (2013) para medir la velocidad de infiltración, existen varios métodos, entre ellos:

- Cilindros infiltrómetros.
- Surcos infiltrómetros.
- Método de represa o poceta.

Independiente de la utilidad práctica de cada uno de ellos, los cilindros infiltrómetros han sido más recurrentemente utilizados, ya que requieren de menos equipos y materiales, y son más fáciles de instalar y opera.

4.6.1.3. Ecuaciones de infiltración.

Las mediciones de campo sobre la tasa de infiltración invariablemente producen datos en términos de infiltración acumulada, la misma que se la representa por medio de la ecuación de Kostiakov.

$$I_{acum} = k T^n$$

Donde:

I_{acum} = Infiltración acumulada [L]

T = Tiempo [T]

k, n = Parámetros que dependen del suelo y de su condición física.

Los valores " k " y " n " son indicadores de las características de infiltración de los suelos. La constante " k " es una medida de magnitud de infiltración y para suelos homogéneos es independiente del tiempo. El valor " n " es positivo, pero menos que la unidad, refleja el cambio en la tasa de infiltración con el tiempo. En suelos húmedos los valores de " k " son más bajos que en suelos secos y los valores de " n " son más altos (Valarezo, 2008).

La tasa de infiltración es relativamente constante, desarrollada después de 4 o 5 horas, es decir cuando la variación de infiltración con respecto al tiempo es muy pequeña.

La velocidad de infiltración básica, se la encuentra a partir de la ecuación de Kostiakov:

$$I_{acum} = k T^n$$

Derivando la misma con relación al tiempo se tiene la velocidad de infiltración instantánea:

$$VI_{inst} = K n T^{n-1}$$

Donde:

VI inst = Velocidad de Infiltración Instantánea en $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}$.

T = Tiempo en min.

Seguidamente se obtiene el Tiempo básico (T_b), el mismo que se lo define como el momento en el que la velocidad de infiltración comienza a permanecer relativamente constante en función del tiempo. Al T_b se lo encuentra en horas, pero se lo reemplaza en minutos en la ecuación anterior, para finalmente determinar la velocidad de infiltración básica (Valarezo, 2008).

El tiempo básico se lo encuentra a partir de la siguiente igualdad.

$$\frac{d VI_{inst}}{dt} = - 0.1 VI_{inst}$$

Resolviendo se tiene:

$$T_b = 10(1 - n) \text{ en horas}$$

4.6.1.4. Capacidad de Infiltración.

La capacidad de infiltración es la cantidad máxima de agua que puede absorber un suelo en determinadas condiciones, valor que es variable en el tiempo en función de la humedad del suelo, el material que conforma al suelo, y la mayor o menor compactación que tiene el mismo.

Los factores más importantes que afectan la velocidad de infiltración son:

Características físicas del suelo, carga hidrostática usada en la prueba, contenido de materia orgánica y carbonatos, características de humedad del suelo, método de riego y manejo del agua, acción microbiana en el suelo, temperatura del suelo y del agua, prácticas culturales realizadas, otros de menor significación (Vázquez *et al.*, 2017).

Tabla 2.

Velocidad estabilizada de infiltración para diversos tipos de suelos

Tipos de suelo	Velocidad (mm.h ⁻¹)
Arenoso	>30
Arenoso Franco	15 – 30
Franco Arenoso	12 – 18
Franco	8 – 14
Franco Limoso	6 – 10
Arenoso Limoso	20 – 30
Limoso	10 – 20
Arcillo limoso	5 – 8
Arcilloso	3 – 6

Fuente: Cadena, 2016

En los suelos arenosos, aunque su porosidad total es menor que en los arcillosos, la infiltración es más rápida porque tiene poros más grandes.

4.6.1.5. Interpretación de los valores de la infiltración básica.

Para la interpretación de los valores obtenidos se utiliza la Tabla 3, categorías de infiltración.

Tabla 3.

Categorías de la infiltración básica

Clase	Infiltración cm.h ⁻¹
Muy Lenta	< 0,127
Lenta	0,127 - 0,50
Moderadamente Lenta	0,50 - 2,00
Media	2,00 - 6,35
Moderadamente Rápida	6,35-12,7
Rápida	12,7 - 25,0
Muy Rápida	> 25,0

Fuente: Ferrero, 1991

5. Metodología

5.1. Ubicación política, geográfica y características biofísicas de Chuquiribamba.

La parroquia Chuquiribamba, se encuentra ubicada en el sur del Ecuador, en la provincia de Loja, Cantón Loja, a 41 km de la cabecera cantonal hacia el noroeste. Dispone de acceso vial desde Loja – Catamayo tomando un desvío al Norte en el Km 11 (GAD de Chuquiribamba, 2014).

En el trayecto vial para llegar a la parroquia Chuquiribamba, se atraviesa la parroquia Taquil y Chantaco, se ubica entre las siguientes coordenadas Latitud: 3° 50' 36,94" Sur Longitud: 79°20' 38,95" Oeste, a una altitud de 2723 m s.n.m. (GAD de Chuquiribamba, 2014).

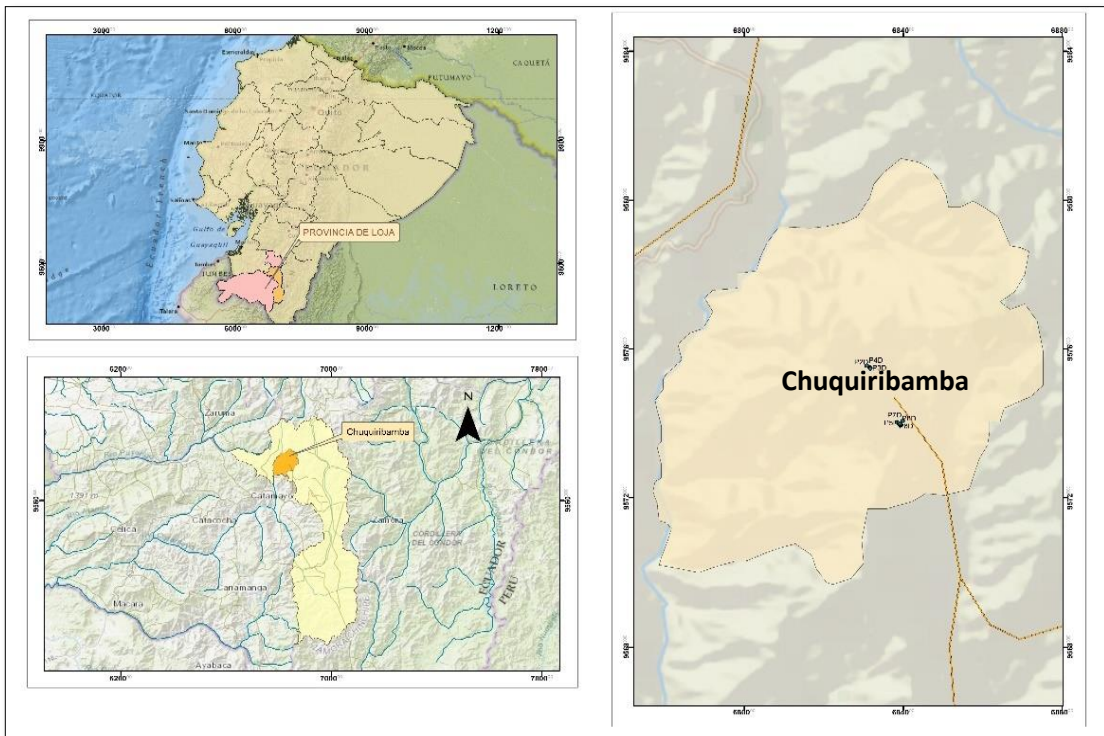


Figura 3. Ubicación geográfica de la parroquia Chuquiribamba
Fuente: El autor

5.1.1. Clima

La parroquia Chuquiribamba, como parte del territorio del cantón Loja, posee un clima ecuatorial mesotérmico semi-humedo, determinado por su altitud y las cordilleras de Santa Bárbara y Violetas ubicadas al este y oeste respectivamente, factores que determinan su climatización. Para este tipo de clima las temperaturas oscilan entre 12°C a 20°C con un promedio de temperatura de 12.5°C (Pauta, 2019).

La pluviometría promedio anual es de 937,60 mm/año, la cual se concentra en los meses de diciembre a abril o temporada invernal con un total de 609,60 mm; lo que representa el 65,02% del total anual. Mientras que en los meses de mayo a noviembre la necesidad del riego es indispensable para realizar cualquier actividad agrícola. El mes con precipitación media máxima es marzo con 136,70 mm, mientras que agosto tiene la precipitación media mínima con 40,60 mm (Tabla 4) (Gobierno Provincial de Loja, 2018).

Tabla 4.
Distribución anual de las precipitaciones medias mensuales.

Meses	Precipitación (mm)
Enero	87,30
Febrero	120,60
Marzo	136,70
Abril	92,20
Mayo	64,10
Junio	58,50
Julio	50,60
Agosto	40,60
Septiembre	44,00
Octubre	70,20
Noviembre	74,70
Diciembre	98,10
Total	937,60

Fuente: Gobierno Provincial de Loja, 2018

La humedad relativa promedio mensual plurianual es del 75%, a lo largo del año oscila entre 70 y 77%. La humedad relativa más baja se presenta en el mes de agosto (70,60%), mientras que la humedad máxima se presenta en la temporada invernal con un valor de 77,77% en el mes de febrero (Gobierno Provincial de Loja, 2018).

Según la clasificación de Holdridge, Chuquiribamba pertenece a la zona de vida Bosque seco montano bajo (bs-MB) (GAD de Chuquiribamba, 2014).

5.2. Ubicación del Sistema de riego Aguarongo

El sistema de riego Aguarongo se encuentra en la parte superior de la subcuenca del río Trapichillo (Catamayo) que pertenece al cinturón denominado sierra media alta de la Región Sur del Ecuador, en las siguientes coordenadas planas: desde 682378 E; 9572989 N, hasta 684520 E; 9578694 N.; altitudinalmente se ubica entre las cotas 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). Los barrios que abarca el proyecto son: Huiñacpac, Simón Bolívar, San José, San Antonio, El Calvario y La Dolorosa (GAD de Chuquiribamba, 2014).

El área total de riego es de 98,30 ha, de ellas 80,36 ha se encuentran bajo riego, las mismas que están ocupadas con: pasto, hortalizas, verduras y frutales (Valarezo, 2017).

5.2.1. Suelos.

El Sistema de Riego Aguarongo se caracteriza por una fisiografía de ladera, con formaciones que van de colinado a plano ondulado.

De acuerdo con el Gobierno Provincial de Loja (2018) las características físicas de los suelos en la localidad tienen una profundidad efectiva variable, que van de medianamente profundos a profundos. Las texturas predominantes son franco arenoso correspondiente a un 56,01% (55,06 ha) y franco arcilloso con un 43,99% (43,24 ha), además destaca que existe un predominio de las fracciones “Arena” y “Arcilla” en las clases texturales obtenidas, esta característica da a la tierra un balance adecuado para la agricultura, que confiere al suelo propiedades de friabilidad, poca pegajosidad y plasticidad media.

5.2.2. Infraestructura de riego.

El Sistema de Riego Aguarongo – Zañe fue construido, hace más de 30 años, por el extinto Instituto Nacional Ecuatoriano de Recursos Hídricos INERHI (Gobierno Provincial de Loja, 2018).

El sistema de riego capta las aguas de dos quebradas Aguarongo y Zañe, mismas que son captaciones directas tipo cajón, desde donde conducen el agua empleando un canal de hormigón con sección de 0,40 m x 0,40 m, que abastece a un reservorio de 12 000 m³ ubicado en el sitio Payana en la cota 2919 m s.n.m. y de este se conduce hacia la zona de riego (Gobierno Provincial de Loja, 2018; citado por Pauta, 2019).

En la Tabla 5 se presenta la ubicación de cada sub modulo, la distribución desde el reservorio hasta cada sub modulo se realiza a través de tubería PVC de 200 mm, 160 mm, 110 mm y 90 mm; para cada sub modulo el diámetro de la tubería es de 75 mm y a nivel de parcela la distribución es con tubería de 63 mm (Anexo 3). A demás se han ubicado válvulas de regulación hidráulica y 104

cajas de válvulas de entrega a nivel de cabecera de las parcelas (Gobierno Provincial de Loja, 2018).

Tabla 5.
Ubicación de los módulos del sistema de riego Aguarongo-Zañe.

Módulos	Sectores de Riego	Inicio			Fin			Detalle	Capacidad l/s
		X (m)	Y (m)	Cota ms.n.m.	X (m)	Y (m)	Cota m s.n.m.		
Sub módulo 1	Simón Bolívar	684 197	9576772	2 895	684 128	9574936	2 671	Longitud (L)= 3.30 km	4,73
Sub módulo 2	Huiñacpac, San José	683 796	9576964	2 847	682 555	9577860	2 658	Longitud (L)= 3.98 km	4,73
Sub módulo 3	El Calvario, La Variante	682 841	9576900	2 768	683 634	9575573	2 713	Longitud (L)= 2.39 km	4,73
Sub módulo 4	San Antonio, La Dolorosa	683 142	9575829	2 801	684 460	9573000	2 519	Longitud (L)= 6.8 km	4,73

Fuente: Gobierno Provincial de Loja, 2018

5.2.3. Superficie de la tierra.

La superficie regada por el sistema de riego de acuerdo al rango de pendiente según la categorización de la FAO (1984) es: 0-8% cubre una superficie de 3,12 ha; de 8-25% una superficie de 42,25 ha; las pendientes de 25-58% cobijan una superficie de 43,06 ha y finalmente mayores al 58% tienen una superficie de 9,87 ha (Anexo 4) (Pauta, 2019).

5.3. Localización de la zona de estudio.

En el sector La Dolorosa perteneciente al Sistema de Riego Aguarango se seleccionaron ocho muestras representativas de acuerdo al uso y pendiente del suelo, en el que se estudió las características hidrodinámicas del suelo (Anexo 5).

El área del sistema de riego Aguarango se encuentra dividido en tres rangos de pendiente: 0-8%, 8-25% y 25-58%, en el sector La Dolorosa se encontraron a través del mapa de pendiente y el clinómetro dos rangos de pendientes de 8-25% (código de perfil: P1D, P2D, P3D, P4 D) y de 25-58% (P5D, P6D, P7D, P8D) (Anexo 4 y 6), las fichas de descripción detallada correspondiente a cada uno de los perfiles de suelo se presentan en el Anexo 7.

El material parental en el primer rango de pendiente de 8 – 25% corresponde a andesita, andesita basáltica, tobas andesíticas y tobas dacíticas y en el rango de 25-58% pertenece tobas dacíticas, dacitas y andesita (Anexo 8).

La profundidad efectiva actual, corresponde al espesor del suelo en el que se extiende las raíces para tomar agua y nutrientes de los ocho perfiles estudiados, está determinada por el uso del suelo y por material parental predominante en los suelos estudiados que son responsables de la formación del origen de los suelos de textura fina y por efectos de la erosión las arcilla se han iluviado a los demás horizontes. En los dos usos del suelo posee valores mayores, en caso del uso maíz (70, 100 y 110 cm, en los perfiles P5D, P2D y P6D, respectivamente); mientras en uso pasto (75, 80 y 90 cm, en los perfiles P4D, P3D y P8D, en su orden) (Tabla 6).

Tabla 6.

Ubicación y características de los seis perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.

Código del Perfil	Uso del Suelo	Coordenadas UTM	Altitud m s.n.m	Pendiente %	Profundidad efectiva actual cm
P1D	Maíz	170684012 9574054	2657	12	100
P2D	Maíz	170683169 9575484	2795	20	100
P3D	Pasto	170683154 9575493	2784	24	90
P4D	Pasto	170683078 9575552	2801	15	75
P5D	Maíz	170683931 9573952	2683	42	70
P6D	Maíz	170683844 9574037	2688	44	110
P7D	Pasto	170683988 9574077	2654	44	100
P8D	Pasto	170683924 9573985	2690	44	80

Fuente: El Autor

5.4. Materiales y Métodos para evaluar físicamente los suelos de la zona de estudio

5.4.1. Materiales

Cartas topográficas del IGM, equipo para muestras no disturbadas, cilindros Koppecky de 100 cm³, balanza de precisión, estufa, crisoles, ollas de presión Richard, tres cilindros infiltrómetros de 20 y 30 cm de diámetro, un combo, una cruz de madera preparada con listones de 50 cm de longitud y 5 x 5 cm de lado, un cronómetro, recipientes de plástico de 10 litros para

transportar agua, una jarra pequeña, un machete, GPS, clinómetro, cinta edafológica, cámara fotográfica, ácido clorhídrico, tabla Munsell.

5.4.2. Metodología para evaluar físicamente los suelos de los dos primeros horizontes en función de la pendiente y uso del suelo en el sistema de riego Aguarongo.

En cada uno de los sitios del experimento, se realizó una calicata de 1,20 m de largo x 1,20 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)

De los dos primeros horizontes del perfil de suelo, se tomaron por duplicado muestras inalteradas con cilindros Koppecky de 100 cm³ de capacidad; las cuales se remitieron al Laboratorio de Suelos y Aguas del Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables a fin de determinar: la densidad aparente y la retención de humedad a pF = 0; pF= 2,00; pF = 2,52; y pF = 4,20 (Anexo 9). Para la capacidad de campo se utilizó lo establecido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) corresponde al contenido de agua que el suelo retiene a una succión de 1/3 (pF 2,52) y lo señalado por la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo (SICS), corresponde al contenido de agua que el suelo retiene cuando ha sido sometido a una succión de 1/10 de atm (pF 2,00).

Con estos valores se elaboraron las respectivas curvas características de retención de humedad del suelo, con la ayuda del diagrama triangular, se evaluaron las condiciones físicas del suelo para el riego y el crecimiento de las plantas.

Además, se tomaron muestras alteradas de las capas seleccionadas, en fundas plásticas debidamente etiquetadas, remitidas de igual manera al laboratorio para determinar textura (Anexo 10).

5.4.3. Metodología para determinar la velocidad de infiltración en función de la pendiente y uso del suelo del sistema del riego Aguarongo

En cada sitio experimental, a una distancia de aproximadamente 1 a 2 m de cada perfil, se realizó la prueba de infiltración (Anexo 11), mediante el método de los cilindros infiltrómetros, durante el tiempo necesario 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: $I_{cum} = Kt^n$ 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.

5.4.4. Diseño experimental.

El presente estudio se utilizó un diseño bifactorial completamente al azar para evaluar las propiedades físicas de los suelos en estudio.

Tabla 7.

Factores y niveles de estudio dentro del diseño bifactorial completamente al azar.

Factor	Niveles
A. uso del suelo	1. Maíz 2. Pasto
B. pendiente	1. 8– 25% 2. 25– 58%

Para ello se tomaron dos sitios para cada uso de suelo y que se encuentren dentro del mismo rango de pendiente, de cada lugar seleccionado y se realizó una calicata en cada sitio.

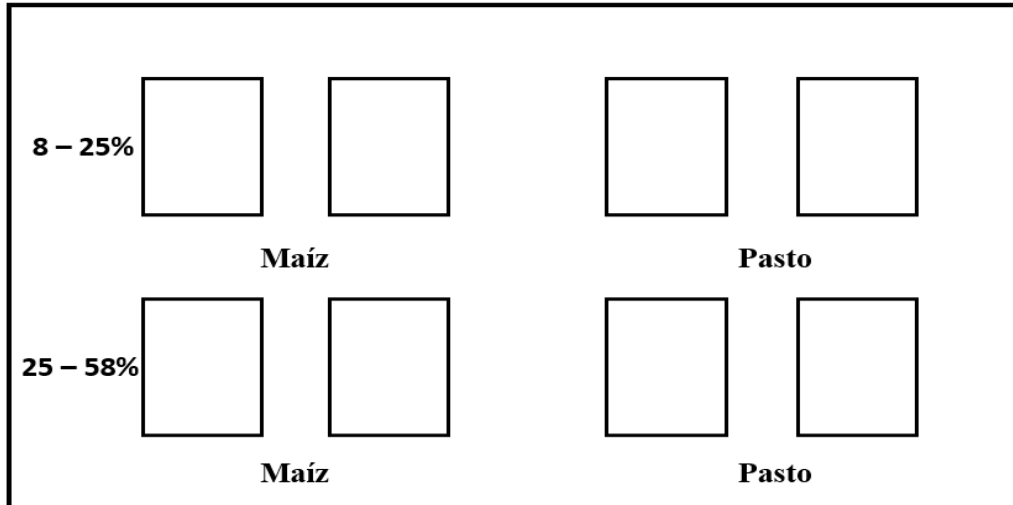


Figura 4. Esquema del muestreo aleatorio

5.4.5. Modelo aditivo lineal.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

Y_{ijk} = Una observación cualquiera bajo el efecto del uso del suelo, pendiente.

μ = es la media general.

α_i = es el efecto del i-ésimo nivel del factor uso del suelo.

β_j = es el efecto del j-ésimo nivel del factor pendiente.

$(\alpha\beta)_{ij}$ = es la interacción, o efecto conjunto, del i-ésimo nivel del factor uso del suelo y del j-ésimo nivel del factor pendiente.

ε_{ijk} = es el efecto del error experimental.

5.4.6. Análisis de datos.

El análisis de datos se realizó bajo el esquema de análisis de varianza que se detalla en la Tabla 8. El procesamiento, análisis estadístico y las pruebas de Tukey, aplicando el Software estadístico Infostat, versión 2015 (Di Rienzo *et al.*, 2008) y los gráficos se elaboraron con la ayuda del programa Microsoft Excel versión 2016.

Tabla 8.
Esquema del análisis de varianza para el diseño bifactorial completamente al azar con dos factores.

Fuentes de variación	Grado de Libertad
Réplicas	$r-1$
Tratamientos	$t-1$
Factor A	$a-1$
Factor B	$b-1$
Interacción AB	$(a-1)(b-1)$
Error experimental	$(n-1) - [(t-1) + (r-1)]$
Total	$n-1$

5.5. Difusión de los resultados.

Finalizados el procesamiento de los resultados se procedió a realizar el día de campo en presencia del director de tesis, usuarios del sistema de riego Aguarongo-Zañe y docentes de la carrera de Ingeniería Agrícola, el día 27 de Marzo del 2021. Se realizó la entrega de un tríptico divulgativo en la cual contenían los resultados de las propiedades físicas en función del uso del suelo y pendiente (Anexo 12 y Anexo 13).

6. Resultado

6.1. Características morfológicas y físicas de los suelos del Sector La Dolorosa.

6.1.1. Perfil P1D (Uso: Maíz, pendiente del terreno: 12%)

Clasificación Taxonómica:	Alfisol
Ubicación del perfil:	684012 E y 9 574054 N
Altitud:	2657 m s.n.m.
Material Parental:	Tobas dacitas alteradas

6.1.1.1. Descripción general del perfil.

Suelo muy profundo, conformado por 4 horizontes: un horizonte Ap de 10 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, franco a franco limoso al tacto; un horizonte AE de 20 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, franco a franco limoso; un horizonte Bt1 de 15 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, franco a arcilloso y un horizonte C de 55 cm de espesor, amarillo, franco arcilloso a arenoso. Todos los horizontes no presentan manchas demostrando un buen drenaje del suelo. Las raíces finas y muy finas se observan en todos los horizontes (Figura 5).

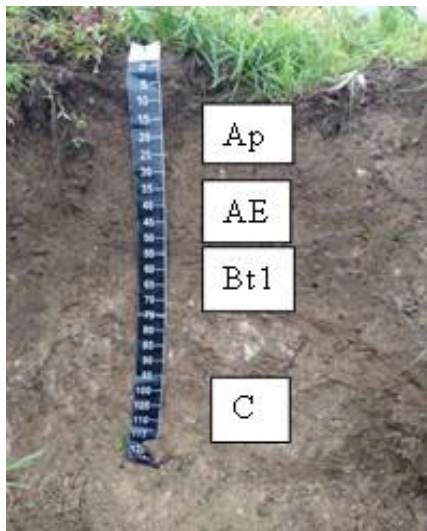


Figura 5. Perfil P1D

6.1.1.2. Características físicas del suelo.

Tabla 9.

Retención de humedad en el rango de pF 0,0 a pF 4,20 de los dos primeros horizontes de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zaña.

Perfil/ Uso	Pendiente %	Profundida d cm	Da g.cm⁻³	Porosida d Total %θ_v pF 0	Capacidad Campo %θ_v pF 2,00	Capacidad Campo %θ_v pF 2,52	Punto Marchitez %θ_v pF 4,20
P1D maíz	12	00-10	1,29	39,29	29,96	30,49	14,24
		10-30	1,43	32,76	27,17	25,94	15,90
P2D maíz	20	00-20	0,91	62,17	44,77	45,29	27,35
		20-50	1,07	38,53	31,61	32,20	22,72
P3D pasto	24	0-15	1,03	59,70	51,92	49,77	25,38
		15-50	1,06	51,40	44,44	43,51	22,39
P4D Pasto	15	5-25	1,08	53,66	42,25	42,57	23,76
		25-55	1,19	39,44	34,34	34,00	24,44
P5D maíz	42	00-20	1,28	41,27	32,82	31,91	16,82
		20-40	1,42	35,83	29,40	28,22	16,86
P6D maíz	44	00-10	1,13	40,09	28,67	28,20	18,26
		10-65	1,43	31,88	26,16	25,62	16,62
P7D pasto	44	00-15	1,35	35,83	28,51	29,44	13,16
		15-40	1,54	28,76	23,72	22,87	14,05
P8D Pasto	44	3-15	1,31	39,42	34,35	34,11	17,35
		15-40	1,28	32,16	29,01	27,56	18,24

Tabla 10.

Capacidad de aireación, agua aprovechable, volumen físicamente inerte y zona del diagrama triangular, de los dos primeros horizontes de los ocho perfiles, para diferentes usos de suelo y rangos de pendiente del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego de Aguarongo – Zaña.

Perfil/ Uso	Pendiente %	Profundidad cm	Capacidad Aireación %θ_v pF 2	Capacidad Aireación %θ_v pF 2,52	Agua Aprovechable %θ_v pF 2,00	Agua Aprovechable % θ_v pF 2,52	Volumen de suelo físicamente inerte %θ_v	Zona del Diagrama pF 2,00	Equivalencia
P1D maíz	12	00-10	9,33	8,81	15,72	16,25	74,95	II	Pobre
		10-30	5,59	6,82	11,28	10,05	83,14	I	Muy Pobre
P2D maíz	20	00-20	17,40	16,88	17,42	17,95	65,18	III	Medio
		20-50	6,93	6,34	8,89	9,48	84,19	I	Muy pobre
P3D pasto	24	00-15	7,78	9,93	26,54	24,39	65,69	II	Pobre
		15-50	6,97	7,89	22,05	21,12	70,99	II	Pobre
P4D Pasto	15	05-25	11,42	11,09	18,49	18,81	70,10	II	Pobre
		25-55	5,10	5,44	9,91	9,57	85,00	I	Muy Pobre
P5D maíz	42	00-20	8,46	9,36	16,00	15,10	75,55	I	Muy Pobre
		20-40	6,43	7,61	12,54	11,36	81,04	I	Muy Pobre
P6D maíz	44	00-10	11,42	11,89	10,41	9,94	78,17	I	Muy Pobre
		10-65	5,72	6,26	9,54	9,00	84,75	I	Muy Pobre
P7D Pasto	44	00-15	7,32	6,40	15,36	16,28	77,33	I	Muy Pobre
		15-40	5,05	5,90	9,67	8,82	85,29	I	Muy Pobre

P8D		03-15	5,07	5,31	17,00	16,76	77,94	I	Muy Pobre
Pasto	44	15-40	3,16	4,61	10,77	9,32	86,08	I	Muy Pobre

En la Tabla 9 sobre los contenidos de humedad en unidades de volumen ($\% \theta_v$) para pF 0 (saturación o porosidad total); pF 2,00 - pF 2,52 (capacidad de campo); y, pF 4,20 (punto de marchitez permanente). Con los resultados obtenidos se elaboró las gráficas de las curvas características de humedad del suelo (Anexo 14 y Anexo 15).

En base a los valores obtenidos de la Tabla 9, se encontraron los siguientes parámetros: capacidad de aireación (CA), agua aprovechable (AA); y, volumen de suelo físicamente inerte (VFI) (Tabla 10).

- **Condición física de la capa 00-10 cm.**

En la capa de 00-10 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,29 \text{ g.cm}^{-3}$, valor significativamente menor al límite inferior del rango común para suelos de textura franco arenoso. El volumen total de poros es relativamente bajo ($39,29\% \theta_v$). La retención de agua a pF 4,20 es de $14,24\% \theta_v$, valor que indica que más de un tercio de la porosidad total del suelo corresponde a microporos (poros inútiles) 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 indica que la capacidad de aireación ($9,33\% \theta_v$) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable ($15,72\% \theta_v$) se ubica en el rango alto, y el volumen del suelo físicamente inerte es $74,95\% \theta_v$, 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 ($8,81\% \theta_v$) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable ($16,25\% \theta_v$) en el rango alto.

- **Condición física de la capa 10-30 cm.**

En la capa de 10-30 cm (horizonte AE) la densidad aparente es de $1,43 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que se encuentra dentro del rango común para suelos de textura franco. El volumen total de poros ($32,76\% \theta_v$), valor considerado como muy bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de $15,90\% \theta_v$ valor que evidencia menos de la mitad de la porosidad del suelo está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación ($5,59\% \theta_v$) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable ($11,28\% \theta_v$) se ubica en el rango medio, y el volumen del suelo físicamente inerte es considerado

como muy alto (83,14% θ_v), 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 (6,82% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (10,05% θ_v) en el rango medio.

6.1.2. Perfil P2D (Uso: Maíz, pendiente del terreno: 20%)

Clasificación Taxonómica:	Alfisol
Ubicación del perfil:	683169 E y 9 575484 N,
Altitud:	2795 m s.n.m.
Material Parental:	Andesita Basáltica

6.1.2.1. Descripción general del perfil

Suelo muy profundo, constituido por los siguientes horizontes: un horizonte Ap de 20 cm de espesor, marrón, franco al tacto; un horizonte Bw1 de 30 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, franco; un horizonte Bw2 de 25 cm de espesor, amarillo, franco; un horizonte Bc de 45 cm de espesor, amarillo, franco arenoso, Sin presencia de manchas en todos los horizontes debido al buen drenaje del suelo. La presencia de raíces medianas, finas y muy finas en sus 4 horizontes (Figura 6).



Figura 6. Perfil P2D

6.1.2.2. Condiciones Físicas del suelo

- **Condición física de la capa 00-20 cm.**

En la capa de 00-20 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $0,91 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que es muy significativamente menor al límite inferior del rango común para una textura franco, lo cual se le atribuye al empleo de gallinaza antes de la siembra, su aplicación aumenta la materia orgánica y mejora la calidad del suelo y a la labranza que expande el suelo; lo cual en secuencia responde a un alto volumen total de poros ($62,17\%\theta_v$). La retención de agua a pF 4,20 es de $27,35\%\theta_v$ lo que indica que menos de un tercio de la porosidad total del suelo corresponde a microporos (poros inútiles) 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 indica que la capacidad de aireación ($17,40\%\theta_v$) se encuentra en el rango alto, el agua aprovechable ($17,42\%\theta_v$) se ubica en el rango alto, y el volumen del suelo físicamente inerte es un tanto aceptable ($65,18\%\theta_v$), 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 ($16,88\%\theta_v$) se encuentra en el rango alto y el agua aprovechable ($17,95\%\theta_v$) en el rango alto.

- **Condición física de la capa 20-50 cm.**

En la capa de 20-50 cm (horizonte Bw1) la densidad aparente es de $1,07 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que es muy significativamente menor al límite inferior del rango común para una textura franco, producto de la aplicación de la gallinaza en la primera capa también beneficia a esta capa con el aumento de la materia orgánica. El volumen total de poros ($38,53\%\theta_v$) se lo considera aceptable. La retención de agua a pF 4,20 es de $22,72\%\theta_v$ valor que evidencia más de la mitad de la porosidad del suelo está constituida por microporos que no proveen de aire ni de agua a las raíces.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación ($6,93\%\theta_v$) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable ($8,89\%\theta_v$) se ubica en el rango bajo, y el volumen del suelo físicamente inerte es considerado como muy alto ($84,19\%\theta_v$), 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 (6,34% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (9,48% θ_v) en el rango bajo.

6.1.3. Perfil P3D (Uso: Pasto, pendiente del terreno: 24%)

Clasificación Taxonómica:	Alfisol
Ubicación del perfil:	0683154 E y 9575493 N
Altitud:	2795 m s.n.m.
Material Parental:	Andesita

6.1.3.1. Descripción general del perfil.

Suelo modernamente profundo, constituido por tres horizontes: un horizonte Ap de 15 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, franco arenoso al tacto; un horizonte Bw de 35 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, franco arcilloso al tacto; un horizonte C de 70 cm de espesor, marrón amarillento, arenoso al tacto, presenta raíces finas, medias y gruesas en sus tres horizontes, sin presencia de manchas en el perfil demostrando un buen drenaje del suelo (Figura 7).



Figura 7. Perfil P3D

6.1.3.2. Condiciones Físicas del suelo.

- **Condición física de la capa 00-15 cm.**

En la capa de 00-20 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de 1,03 g.cm⁻³, valor que es muy significativamente menor al límite inferior del rango común para una textura franco arenoso, debido a que este suelo se lo utiliza para el pastoreo de animales medianos la compactación sobre

esta capa es menor. El volumen total de poros es de 59,70% θ_v , que corresponde a una porosidad total alta. La retención de agua a pF 4,20 es de 25,38% θ_v , valor que indica que menos de la mitad de la porosidad total del suelo corresponde a microporos (poros inútiles) 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 indica que la capacidad de aireación (7,78% θ_v) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable (26,54% θ_v) se ubica en el rango muy alto, y el volumen del suelo físicamente inerte es 65,69% θ_v , valor considerado medio, 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 (9,93% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (24,39% θ_v) en el rango muy alto.

- **Condición física de la capa 15-50 cm.**

En la capa de 20-50 cm (horizonte Bw) la densidad aparente es de 1,06 g.cm⁻³, valor que es muy significativamente menor al límite inferior del rango común para una textura franco arcilloso, lo que se le atribuye a la menor compactación de los animales medianos sobre esta capa. El volumen total de poros (51,40% θ_v) se lo considera adecuado. La retención de agua a pF 4,20 es de 22,39% θ_v valor que evidencia menos de la mitad de la porosidad del suelo está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación (6,97% θ_v) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable (22,05% θ_v) se ubica en el rango muy alto, y el volumen del suelo físicamente inerte es considerado como medio (70,99% 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 (7,89% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (21,12% θ_v) en el rango muy alto.

6.1.4. Perfil P4D (Uso: Pasto, pendiente del terreno: 15%)

Clasificación Taxonómica:	Alfisol
Ubicación del perfil:	683078 E y 9 575552 N
Altitud:	2801 m s.n.m.
Material Parental:	Andesita basáltica, Toba andesítica

6.1.4.1. Descripción general del perfil.

Suelo modernamente profundo, constituido por los siguientes horizontes: una capa orgánica de 5 cm de espesor de material orgánico bien descompuesto; un horizonte Ap de 20 cm de espesor, marrón oscuro, franco al tacto; un horizonte Bt de 30 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, arcilloso; un horizonte Bw1 de 20 cm de espesor, marrón amarillento, franco arcilloso; un horizonte Bw2 45 cm de espesor, amarillo pardusco, franco. Todos los horizontes no presentan manchas indicando un buen drenaje del suelo. Las raíces finas y muy finas se observan hasta los 75 cm de profundidad (Figura 8).



Figura 8. Perfil P4D

6.1.4.2. Condiciones Físicas del suelo.

- **Condición física de la capa 00 -20 cm.**

En la capa de 00-20 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,08 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que es muy significativamente menor al límite inferior del rango común para una textura franco, lo cual se le atribuye a la presencia de materia orgánica. El volumen total de poros es de $53,66\% \theta_v$, que se lo considera aceptable. La retención de agua a pF 4,20 es de $23,76\% \theta_v$, 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 indica que la capacidad de aireación ($11,42\% \theta_v$) se encuentra en el rango medio, el agua aprovechable ($18,49\% \theta_v$) se ubica en el rango alto, y el volumen del suelo físicamente inerte es $70,10\% \theta_v$, valor considerado medio, 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 ($11,09\% \theta_v$) se encuentra en el rango medio y el agua aprovechable ($18,81\% \theta_v$) en el rango alto.

- **Condición física de la capa 20-50 cm.**

En la capa de 20-50 cm (horizonte Bt) la densidad aparente es de $1,19 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que es muy significativamente menor al límite inferior del rango común para una textura arcilloso. El volumen total de poros ($39,44\% \theta_v$), valor inferior para los de esta clase de textura. La retención de agua a pF 4,20 es de $24,44\% \theta_v$ valor que evidencia más de la mitad de la porosidad del suelo está constituida por 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 indica que la capacidad de aireación ($5,10\% \theta_v$) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable ($9,91\% \theta_v$) se ubica en el rango bajo, y el volumen del suelo físicamente inerte es $85,00\% \theta_v$, calificado como muy alto; no obstante, debido a la muy baja capacidad de aireación, 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 (5,44% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (9,57% θ_v) en el rango bajo.

6.1.5. Perfil P5D (Uso: Maíz, pendiente del terreno: 42%)

Clasificación Taxonómica:	Alfisol
Ubicación del perfil:	683931 E y 9 573952N
Altitud:	2795 m s.n.m.
Material Parental:	Andesita basáltica.

6.1.5.1. Descripción general del perfil.

Suelo muy profundo, constituido por los siguientes horizontes: un horizonte Ap de 20 cm de espesor, marrón, franco arcilloso al tacto; un horizonte Bw1 de 50 cm de espesor, marrón, franco arcilloso; un horizonte Ab de 30 cm de espesor, marrón grisáceo muy oscuro, franco arcilloso; un horizonte 2Bw1 de 10 cm de espesor, marrón, franco, sin presencia de manchas en todos los horizontes debido al buen drenaje del suelo. La presencia de raíces medianas, finas y muy finas hasta 70 cm, presentan resto de actividades humanas en los tres primeros horizontes (Figura 9).

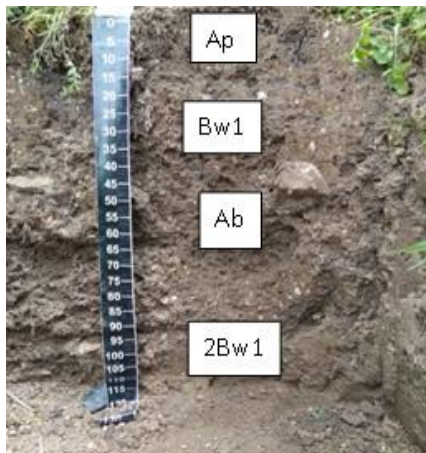


Figura 9. Perfil P5D

6.1.5.2. Condiciones Físicas del suelo.

- **Condición física de la capa 00-20 cm.**

En la capa de 00-20 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de 1,28 g.cm⁻³, valor que es ligeramente menor al límite inferior del rango común para una textura franco arcilloso, producto

del empleo de la gallinaza produce el aumento de la materia orgánica y por el efecto de la labranza expande el suelo. El volumen total de poros (41,27% θ_v), que corresponde a un valor medianamente bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de 16,82% θ_v lo que indica que más de un tercio de la porosidad total del suelo corresponde a microporos (poros inútiles) 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 indica que la capacidad de aireación (8,46% θ_v) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable (16,00 % θ_v) se ubica en el rango alto, y el volumen del suelo físicamente inerte es 75,55% 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 (9,36% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (15,10% θ_v) en el rango alto.

- **Condición física de la capa 20-40 cm.**

En la capa de 20-40 cm (horizonte Bw1) la densidad aparente es de 1,42 g.cm⁻³, valor que se encuentra fuera del rango común para los suelos de textura franco arcilloso, producto del efecto de la labranza esta capa presenta compactación. El volumen total de poros (35,83% θ_v), valor considerado como muy bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de 16,86% θ_v valor que evidencia menos de la mitad de la porosidad del suelo está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación (6,43% θ_v) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable (12,54% θ_v) se ubica en el rango medio, y el volumen del suelo físicamente inerte es 81,04% θ_v , valor considerado como muy 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 (7,61% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (11,36% θ_v) en el rango medio.

6.1.6. Perfil P6D (Uso: Maíz, pendiente del terreno: 44%)

Clasificación taxonómica:	Alfisol
Ubicación del perfil:	683844 E y 9 574037 N
Altitud:	2688 m s.n.m.
Material Parental:	Dacita.

6.1.6.1. Descripción general del perfil

Suelo muy profundo, constituido por los siguientes horizontes: un horizonte Ap de 10 cm de espesor, marrón oscuro, franco al tacto; un horizonte Bw1 de 55 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, franco arcilloso; un horizonte Ab de 30 cm de espesor, marrón grisáceo muy oscuro, franco arcilloso; un horizonte 2Bw1 de 25 cm de espesor, marrón amarillento oscuro franco arcilloso. La presencia de raíces medianas, finas y muy finas. En los horizontes 2 y 3 presenta resto de actividades humanas (Figura 10).

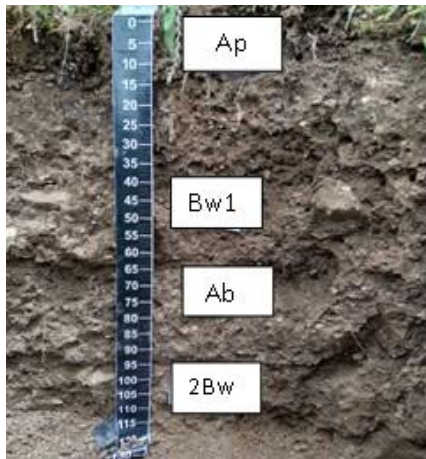


Figura 10. Perfil P6D

6.1.6.2. Condiciones Físicas del suelo.

- **Condición física de la capa 00-10 cm.**

En la capa de 00-10 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,13 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que se encuentra menor al límite inferior del rango común para los suelos de textura franco, lo que se atribuye a aplicación de la gallinaza su empleo aumenta la materia orgánica y mejora la calidad física del suelo, también por el efecto de la labranza el suelo se expande. El volumen total de poros es de $40,09\% \theta_v$, valor calificado como medianamente bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de

18,26% θ_v , valor que indica que más de un tercio 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 indica que la capacidad de aireación (11,42% θ_v) se encuentra en el rango medio, el agua aprovechable (10,41% θ_v) se ubica en el rango medio, y el volumen del suelo físicamente inerte es 78,17% θ_v , valor considerado 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 (11,89% θ_v) se encuentra en el rango medio y el agua aprovechable (9,94% θ_v) en el rango bajo.

- **Condición física de la capa 10-65 cm.**

En la capa de 10-65 cm (horizonte Bw1) la densidad aparente es de 1,43 g.cm⁻³, valor que se encuentra dentro del rango común para los suelos de textura franco arcilloso, se debe al efecto de la labranza que compacta esta capa. El volumen total de poros (31,88% θ_v), valor considerado como muy bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de 16,62% θ_v valor que evidencia más de la mitad de la porosidad del suelo está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación (5,72% θ_v) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable (9,54% θ_v) se ubica en el rango bajo, y el volumen del suelo físicamente inerte (84,75% θ_v), valor calificado como muy 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 (6,26% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (9% θ_v) en el rango bajo.

6.1.7. Perfil P7D (Uso: Pasto, pendiente del terreno: 44%)

Clasificación Taxonómica:	Alfisol
Ubicación del perfil:	683988 E y 9 574077 N
Altitud:	2654 m s.n.m.
Material Parental:	Tobas dacíticas

6.1.7.1. Descripción general del perfil.

Suelo muy profundo, constituido por los siguientes horizontes: un horizonte Ap de 15 cm de espesor, marrón oscuro, franco arcillo limoso al tacto; un horizonte Bt1 de 25 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, arcilloso limoso; un horizonte Bt2 de 20 cm de espesor, marrón grisáceo muy oscuro, arcilloso limoso; un horizonte C 60 cm de espesor, marrón oscuro, franco arcillo limoso. Todos los horizontes no presentan manchas demostrando un buen drenaje del suelo. Las raíces finas y muy finas se observan hasta los 1m de profundidad. En el horizonte C se observan algunos restos del material parental que han sido fuertemente alterado, además todos los horizontes no presentan manchas demostrando un buen drenaje del suelo (Figura 11).



Figura 11. Perfil P7D

6.1.7.2. Condiciones Físicas del suelo.

- **Condición física de la capa 0-15 cm.**

En la capa de 0-15 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,34 \text{ g.cm}^{-3}$, valor significativamente menor al rango de los suelos de textura franco. El volumen total de poros es de $35,83\% \theta_v$, valor considerado como muy bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de $13,16\% \theta_v$, valor que indica que más de un tercio 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 indica que la capacidad de aireación ($7,32\% \theta_v$) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable ($17,36\% \theta_v$) se ubica en el rango alto, y el volumen del suelo físicamente inerte es $77,33\% \theta_v$, 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 (6,40% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (16,28% θ_v) en el rango alto.

- **Condición física de la capa 15-40 cm.**

En la capa de 15-40 cm (horizonte Bt1) la densidad aparente es de 1,54 g.cm⁻³, valor que es mayor al límite superior del rango común para suelos de textura franco arcilloso, producto de la compactación del pastoreo del ganado a compactado esta capa. El volumen total de poros (28,76% θ_v), valor considerado como muy bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de 14,05% θ_v valor que evidencia menos de la mitad de la porosidad del suelo está constituida por 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 indica que la capacidad de aireación (5,05% θ_v) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable (9,67% θ_v) se ubica en el rango bajo, y el volumen del suelo físicamente inerte es 85,29% θ_v , calificado como muy alto; no obstante, debido a la muy baja capacidad de aireación, 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 (5,90% θ_v) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable (8,82% θ_v) en el rango bajo.

6.1.8. Perfil P8D (Uso: Pasto, pendiente del terreno: 44%).

Clasificación Taxonómica:	Alfisol
Ubicación del perfil:	683924 E y 9 573985 N
Altitud:	2690 m s.n.m.
Material Parental:	Toba dacítica, Andesita

6.1.8.1. Descripción general del perfil.

Suelo modernamente profundo, constituido por los siguientes horizontes: una capa ligera orgánica de 3 cm de espesor de material orgánico bien descompuesto; un horizonte Ap de 12 cm de espesor, marrón amarillento oscuro, franco arcillo arenoso al tacto; un horizonte A1 de 25 cm

de espesor, marrón grisáceo oscuro, franco arcilloso; un horizonte Bw de 80 cm de espesor, marrón amarillento, franco arcilloso. Todos los horizontes no presentan manchas debido al buen drenaje del suelo. Las raíces finas y muy finas se observan en todos los horizontes (Figura 12).



Figura 12. Perfil P8D

6.1.8.2. Condiciones físicas del suelo

- **Condición física de la capa 00-15 cm.**

En la capa de 00-15 cm (horizonte Ap) la densidad aparente es de $1,31 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que se ubica dentro del rango común para los suelos de franco arcillo arenoso, producto de la presencia de un horizonte orgánico antes de la capa. El volumen total de poros es de $39,42\% \theta_v$, valor que se lo considera muy bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de $17,35\% \theta_v$, 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 indica que la capacidad de aireación ($5,07\% \theta_v$) se encuentra en el rango bajo, el agua aprovechable ($17,00\% \theta_v$) se ubica en el rango medio, y el volumen del suelo físicamente inerte es $77,94\% \theta_v$, valor calificado como muy 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 ($5,31\% \theta_v$) se encuentra en el rango bajo y el agua aprovechable ($16,76\% \theta_v$) en el rango alto.

- **Condición física de la capa 15-40 cm.**

En la capa de 15-40 cm (horizonte A1) la densidad aparente es de $1,28 \text{ g.cm}^{-3}$, valor que es ligeramente menor al límite inferior del rango común para una textura franco arcilloso. El volumen total de poros ($32,16\%\theta_v$), calificado como muy bajo. La retención de agua a pF 4,20 es de $18,24\%\theta_v$ valor que evidencia más de la mitad de la porosidad del suelo está constituida por microporos.

La distribución de los volúmenes de las fases del suelo para la retención de agua a pF 2,00 indica que la capacidad de aireación ($3,16\%\theta_v$) se encuentra en el rango muy bajo, el agua aprovechable ($10,77\%\theta_v$) se ubica en el rango medio, y el volumen del suelo físicamente inerte es $86,08\%\theta_v$, calificado como muy 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 ($4,61\%\theta_v$) se encuentra en el rango muy pobre y el agua aprovechable ($9,32\%\theta_v$) en el rango bajo.

6.2. Infiltración

6.2.1. Infiltración básica.

Los valores promedios de las infiltraciones de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del sistema de riego Aguarongo- Zañe oscilan entre $0,41 \text{ cm.h}^{-1}$ y $5,16 \text{ cm.h}^{-1}$ clasificado como Lenta y media respectivamente (Tabla 11).

En el Anexo 20 se presentan la gráfica de los valores de velocidad de infiltración acumulada de cada suelo estudiado en donde los de uso maíz presentan los valores más altos por tanto acumulan mayor cantidad de agua en el perfil durante la lluvia o la aplicación de la lámina de riego incrementando el contenido de agua disponible para las plantas, para finalmente reducir la escorrentía y la erosión de los suelos.

En el caso del pasto la infiltración se presenta con los valores más bajos producto de la compactación se incrementan los microporos y se reducen los macroporos responsables del ingreso del agua y aire.

Tabla 11.

Infiltración básica de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno, determinada con cilindros infiltrómetros en el Sector La Dolorosa del Sistema de Aguarongo –Zaño.

Perfil	Uso del suelo	Pendiente (%)	Velocidad de infiltración básica cm.h⁻¹	Equivalencia
P1D	Maíz	12	2,68	Media
P2D	Maíz	20	5,16	Media
P3D	Pasto	24	1,59	Moderadamente lenta
P4D	Pasto	15	0,68	Moderadamente lenta
P5D	Maíz	42	1,17	Moderadamente lenta
P6D	Maíz	44	2,05	Media
P7D	Pasto	44	0,60	Moderadamente lenta
P8D	Pasto	44	0,41	Lenta

6.2.2. Relación de la infiltración con otras propiedades del suelo

En los siguientes resultados se discuten las regresiones lineales simples entre velocidad de infiltración básica (variable dependiente) de los ocho sitios de estudio del sector La Dolorosa y las siguientes propiedades físicas: densidad aparente y porosidad total (variable independiente).

6.2.2.1. Infiltración básica vs densidad aparente.

Los bajos valores de densidad aparente en los ocho suelos del sector La Dolorosa en función de uso y pendiente, corresponde a valores altos de infiltración básica. El coeficiente de determinación fue de 0,42 lo que indica que el 42,20% de la variabilidad de la velocidad de infiltración básica es explicada por la variable la densidad aparente. Por lo tanto, guarda relación al aumentar la densidad aparente disminuye el ingreso del agua al suelo (Figura 13).

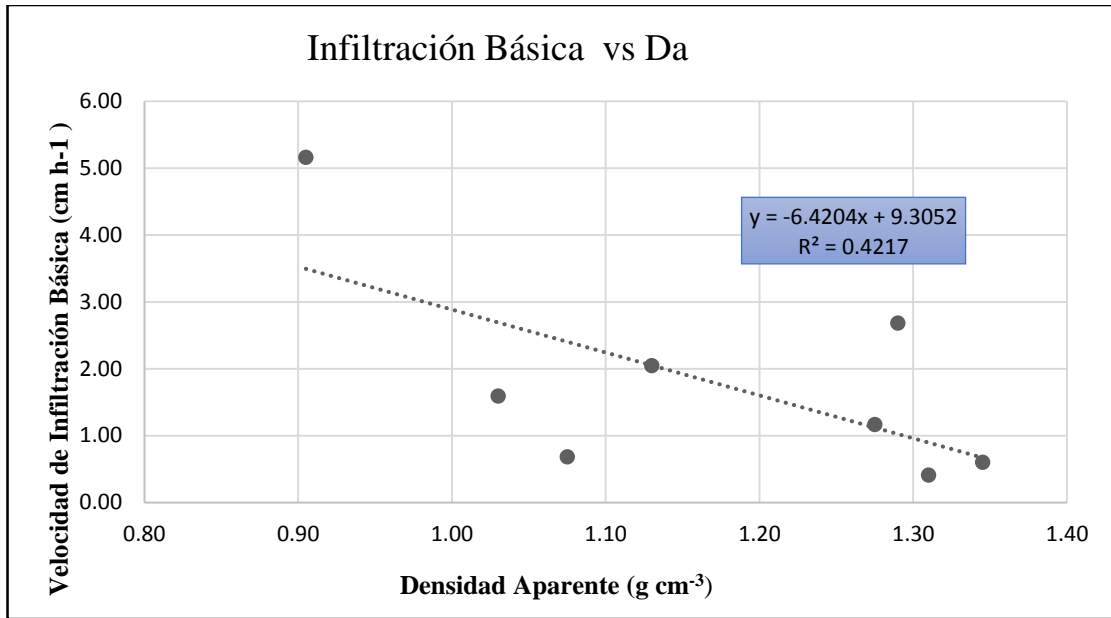


Figura 13. Regresión lineal entre la velocidad de infiltración básica y la densidad aparente de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguaronco – Zañe

6.2.2.2. Infiltración básica vs porosidad total

Conforme aumenta la infiltración básica, de la misma manera lo hace la porosidad de los suelos del sitio de estudio. El coeficiente que determina la variabilidad de la velocidad de infiltración básica está determinado en 50,20% por la variable porosidad.

El hecho de que un material sea poroso no significa necesariamente, que pueda darse una infiltración alta, para que esta se dé es necesario que los poros estén intercomunicados entre sí, es decir que el material sea permeable. Sin embargo, no es solamente la cantidad total de poros en el sólido lo que define el comportamiento hídrico del suelo, sino también las características específicas del sistema de poros, en términos de forma, tamaño y distribución (Williams y Ouyang, 1998; citado por Durán, 2015) (Figura 14).

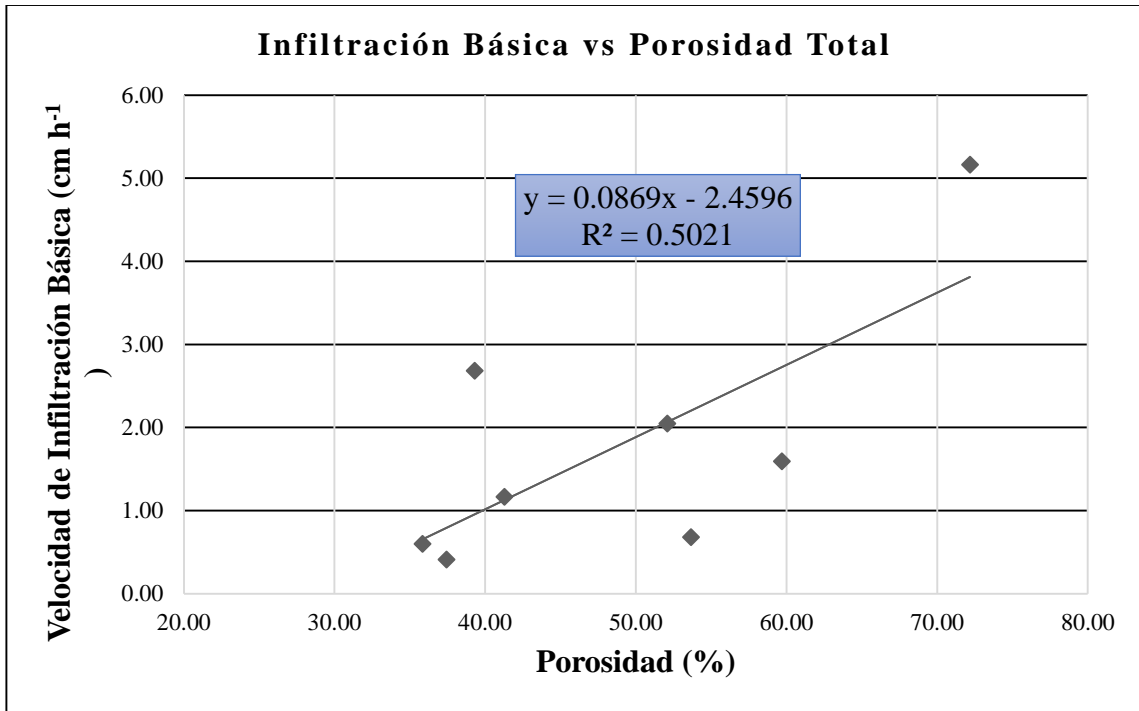


Figura 14. Regresión lineal entre la velocidad de infiltración básica y la porosidad total de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

7. Discusión.

7.1. Efecto del uso del suelo y la pendiente del terreno sobre la condición física de la zona radicular del suelo.

En el uso del suelo con pasto, la condición física de la zona radicular (dos primeros horizontes) de los cuatro perfiles estudiados, dos de cuyos perfiles (P7D y P8D) se ubica en la zona I del diagrama triangular, equivalente a muy pobre y los perfiles (P3D y P4D) a la zona II (pobre). La situación es menos grave en uso con maíz, el perfil P1D pertenecen a la zona II (pobre), mientras el perfil P2D se encuentra en la zona III (medio) y los perfiles (P5D y P6D) en la zona I (muy pobre).

A continuación, se discute el efecto de la capacidad de aireación y el agua aprovechable sobre las condiciones físicas de la zona radicular de los suelos estudiados.

7.1.1. Capacidad de aireación

Las pruebas de rangos múltiples de Tukey para el nivel de significancia del 5% presenta mayor significancia estadística para el uso del suelo y también para la pendiente menos para la interacción uso del suelo + pendiente, en lo correspondiente a la capacidad de aireación para el uso maíz para el primer horizonte ($11,48\%\theta_v$) es estadísticamente diferente del uso pasto ($8,07\%\theta_v$) (Tabla 12), con un coeficiente de variación de 30,92% (Anexo 16). A diferencia del segundo horizonte son estadísticamente iguales ($6,14\%\theta_v$ y $5,09\%\theta_v$) respectivamente para el uso maíz y pasto (Tabla 13), con un coeficiente de variación de 22,36% (Anexo 17). En el primer horizonte existe una aceptable capacidad de aireación 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 a este se le debe añadir el mal manejo del suelo, en el caso del pasto sus dos horizontes sufren de compactación debido al pisoteo del ganado.

En el segundo horizonte, la baja capacidad de aireación se debe probablemente a la textura del suelo franco arcilloso y a la densidad aparente $1,30 \text{ g.cm}^{-3}$. Las condiciones físicas de los suelos de la región Sur del Ecuador, en clase textural del suelo franco arcilloso (FoAc), como este caso, se encuentran en el intervalo manifestado por Valarezo *et al.*, (1998).

Al respecto, es preciso señalar que la disminución de la capacidad de aireación por efecto de la compactación disminuye la oxigenación del suelo por destrucción de los macroporos y la reducción en número y tamaño de los poros, que al llenarse de agua no permiten la circulación del oxígeno (Geisler, 1965; Ramírez *et al.*, 2006; citado por Valarezo, 2017) lo que limita la producción (Duran y Ortiz, 1995; citado por Valarezo, 2017).

Al respecto Flores *et al.*, (2011) 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 y conuco, 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 ($> 30 \mu\text{m}$ 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; de la misma manera Valarezo *et al.*, (2020) en el área de riego Zalapa del sistema de riego Santiago, donde el uso con hortalizas encontró valores altos de capacidad de aireación respecto al uso pasto debido a la compactación por el ganado, también Pla (1994) citado por Volverás *et al.*, (2016). describe que el aumento de macroporos y de mesoporos en el uso agrícola, puede obedecer a condiciones favorables generadas por el sistema de raíces del cultivo (cultivos trigo y maíz establecidos por largos periodos de tiempo) y al efecto temporal de la labranza. Finalmente, Gaspar y Navas (2013) citado por Leyva *et al.*, (2018) menciona el uso del suelo, la vegetación y el tipo de suelo son factores que se encuentran interrelacionados y determinan las propiedades físicas y químicas de los suelos.

La compactación es más evidente en uso pasto por el efecto del pastoreo que reduce la macroporosidad tal como lo expresa en sus resultados Fernández *et al.*, (2006) reportan una disminución del 60,0% de la capacidad de aireación por efecto del pastoreo de cabras en la IV Región de Chile, de igual manera Leyva *et al.*, (2018) en la evaluación del efecto de diferentes sistemas de uso agropecuarios en algunas propiedades, en Las Tunas, Cubas, el uso pasto reportaba menos valores (13,84% θ_v) frente al uso con arboleda(26,86% θ_v) y Daza *et al.*, (2014) reporta que la capacidad de aireación (macroporosidad) se redujo en 29,8% θ_v para el suelo con cultivo de papa y 10% θ_v para el suelo con pasto, en el área del Parque Natural del Sumapaz, Colombia.

En la misma línea investigativa sobre las condiciones físicas de los suelos el uso con pastos Valarezo (1997) citado por Valarezo *et al.*, (2020) para la Serie Santiago del Sistema de Riego 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 (3,90% θ_v); mientras que, el valor del agua aprovechable fue alta (15,20% θ_v), ubicándose en la zona muy pobre la condición física del suelo para el crecimiento de las plantas.

Tabla 12.

Prueba de Tukey para la capacidad de aireación del factor uso del suelo del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

Uso	Medias	n	E.E.	
Maíz	11,48	8	1,07	A
Pasto	8,07	8	1,07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 13.

Prueba de Tukey para la capacidad de aireación del factor uso del suelo del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe

Uso	Medias	n	E.E.	
Maíz	6,14	8	0,44	A
Pasto	5,09	8	0,44	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La prueba de rangos múltiples de Tukey para el nivel de significancia 5% para el factor pendiente se evidencio el promedio de capacidad de aireación para el primer horizonte, en el rango de 8- 25% (11,65% θ_v) es estadísticamente diferente de 25-58% (7,90% θ_v) (Tabla 14), para el segundo horizonte no existe diferencia estadística entre los dos rangos de pendiente con valores de 6,17% θ_v y 5,07% θ_v respectivamente (Tabla 15). El aumento de la capacidad de aireación en la pendiente de 8-25% se debe al alto contenido de arena producto de la erosión de las intensas precipitaciones del mes de marzo con 136,70 mm, en donde parte de las arcillas del horizonte superficial se han lixiviado a las capas sub superficial, en cambio en el rango de pendiente de 25-58% el contenido de arcilla es mayor por lo tanto la capacidad de aireación disminuye. Al respecto Hernández (2013) citado por Pozo (2016), manifiesta que los suelos arenosos tienen buena aireación, son fáciles de labrar, son deficientes en nutrientes para las plantas, con baja retención de agua ya que se desecan con facilidad y son muy permeables. También González, (2013) en su estudio y evaluación de la calidad del suelo de 4 perfiles en ladera identifico la migración de las arcillas (iluvación) a través de la ladera, pues de manera general la pérdida de los horizontes

superficiales hacia los horizontes (B), pero para el perfil 4 la presencia de estos horizontes es inmediato no hay presencia del horizonte A, por lo tanto la capacidad de aireación se encuentra de media y baja lo que indica que puede presentar restricciones en relación a la profundidad fisiológica del suelo y la lenta elevación de agua capilar para las plantas.

Tabla 14.

Prueba de Tukey para la capacidad de aireación del factor pendiente del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

Pendiente	Medias	n	E.E.	
8-25%	11,65	8	1,07	A
25-58%	7,90	8	1,07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 15.

Prueba de Tukey para la capacidad de aireación del factor pendiente del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

Pendiente	Medias	n	E.E.	
8-25%	6,17	8	0,44	A
25-58%	5,07	8	0,44	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

7.1.2. Agua aprovechable

Las pruebas de rangos múltiples de Tukey para el nivel de significancia del 5% presenta mayor significancia estadística para el uso del suelo y también para la pendiente, menos para la interacción uso del suelo + pendiente, en lo correspondiente al agua aprovechable para el uso maíz para el primer horizonte ($19,54\%\theta_v$) es estadísticamente diferente del uso pasto ($14,69\%\theta_v$) (Tabla 16), con un coeficiente de variación de 20,05% (Anexo 18); a diferencia del segundo horizonte son estadísticamente iguales ($13,03\%\theta_v$ y $10,63\%\theta_v$) para el uso maíz y pasto (Tabla 17), con un coeficiente de variación de 31,45% (Anexo 19).

Los resultados demuestran que la labranza ejerce efecto sobre el agua aprovechable mientras que el pasto se ve afectada por la compactación que reduce la retención de humedad, como los resultados encontrados por Volverás *et al.*, (2016), en el estudio de los cambios de algunos indicadores de calidad física en suelos en la zona cerealera fría de Nariño, Colombia, en los primeros 20 cm de profundidad, la disponibilidad de agua para las plantas en el suelo de uso agrícola fue un 49% y un 28 mayor a la disponibilidad para el suelo con pastura y para el testigo; en la capa de 20 a 40 cm de profundidad, el contenido de agua aprovechable presento la misma

tendencia, con un mejor comportamiento para el uso agrícola, producto de la labranza e incorporación de material orgánico de las raíces y parte aérea de gramíneas (maíz, trigo) en el uso agrícola pueden contribuir a mejorar las condiciones para el almacenamiento de agua en el perfil; también Yalli (2011) en el estudio del efecto del pastoreo la humedad fue superior en los pastoreos con llamas (29%) en comparación a los vacunos (26%), debido a que la mejor respuesta hídrica del pastizal fue obtenida con el manejo del pastoreo con llamas, principalmente a que ejercen una menor compactación sobre el suelo

En esta misma línea investigativa Daza *et al.*, (2014) en suelos del Páramo de Sumapaz – Colombia, encontraron que el agua aprovechable se redujo para el horizonte A, 21 y 25% para los suelos con cultivo de papa y ganadería; mientras para el horizonte B 27 y 22% respectivamente, esto sería posiblemente a la labranza que afectó considerablemente y Burbano (2001), Primavesi (1984) citado por Bastidas & Botina (2018) mencionan que cuando la Da del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando el crecimiento de las raíces.

El agua aprovechable también depende principalmente de la textura que posee el suelo, posiblemente el tipo de arcillas predominante en el sitio de estudio pertenezca al grupo de las esmectitas, las cuales tienen una elevada capacidad de retención de agua. Como los resultados encontrados por Vargas *et al.*, (2020) en el estudio de cuatro fincas suburbanas de Santiago de Cuba encontraron que los contenidos de humedad oscilan entre 6,10 a 11,40% esta variación puede estar asociada a los contenidos de arcilla y su tipo predominante, contenido de materia orgánica, presencia de gravas y piedras, en los suelos de los sistemas productivos estudiados, también Ceballos *et al.*, (2005) los resultados demostraron que la fracción estructural es la principal variable para explicar la capacidad de retención hídrica de los suelos. Así mismo Valarezo *et al.*, (2020) en su estudio sobre el uso hortalizas (29,10% θ_v) difiere estadísticamente del uso pastos (9,10% θ_v) para el primer horizonte y (33,40% θ_v y 22,20% θ_v) para los usos hortalizas y pastos del segundo horizonte, esto se debe a la textura de la capa superior es arcillosa en las hortalizas; en tanto que, en los suelos con pastos la textura es franca a franco arcillosa.

Tabla 16.

Prueba de Tukey para el agua aprovechable del factor uso del suelo del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

Uso	Medias	n	E.E.	
Maíz	19,54	8	1,21	A
Pasto	14,69	8	1,21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 17.

Prueba de Tukey para el agua aprovechable del factor uso del suelo del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

Uso	Medias	n	E.E.	
Maíz	13,03	8	1,32	A
Pasto	10,63	8	1,32	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La prueba de rangos múltiples de Tukey para el nivel de significancia 5% para el factor pendiente se evidencio el promedio de agua aprovechable para el primer horizonte, en el rango de 25- 58% (19,34% θ_v) es estadísticamente diferente de 8-25% (14,89% θ_v) (Tabla 18), para el segundo horizonte no existe diferencia estadística entre los dos rangos de pendiente con valores de 13,10% θ_v y 10.56% θ_v respectivamente (Tabla 19). Se evaluó por uso de suelo y por pendiente por separado debido a que no presenta significancia estadística por interacción.

El incremento de la humedad se puede atribuir al aumento de arcilla debido a la erosión del suelo con el aumento de la pendiente, esto ocasiona el acercamiento a la superficie del horizonte Bt de acumulación de arcilla iluvial, dicho resultados concuerda con lo expuesto por Valarezo et al., (2020) en los suelos estudiados del área de Zalapa del sistema de riego Santiago con pendiente $> 16\%$ (22,8% θ_v), siendo estadísticamente diferente a los rangos de pendiente de 8 - 16% y 0 - 8%, los cuales son estadísticamente iguales, con valores de 17,5% θ_v y 17,0% θ_v respectivamente, el incremento de humedad se debió a la presencia de arcilla iluvial, la cual es de textura fina (pesada) y denso, producto de la erosión se aproxima al horizonte B.

Tabla 18.

Prueba de Tukey para el agua aprovechable del factor pendiente del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

Pendiente	Medias	n	E.E.	
25-58%	19.34	8	1,21	A
8-25%	14,89	8	1,21	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 19.

Prueba de Tukey para el agua aprovechable del factor pendiente del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

Pendiente	Medias	n	E.E.	
25-58%	13,10	8	1,32	A
8-25%	10,56	8	1,32	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

7.2.Velocidad de infiltración

La evaluación de la velocidad de infiltración se realizó a través de las pruebas de rangos múltiples de Tukey para el nivel de significancia del 5%, se evidencio que el uso maíz ($2,77 \text{ cm.h}^{-1}$) es estadísticamente diferente del uso pasto ($0,82 \text{ cm.h}^{-1}$) (Tabla 20), con un coeficiente de variación de 55,05% (Anexo 21). La evaluación se realizó solo por uso del suelo debido a que presenta mayor significancia estadística. La disminución de la infiltración en el uso pasto es por el sobrepastoreo del ganado que produce la compactación del suelo dificultando el ingreso del agua al suelo, estos resultados concuerdan con los reportes de los siguientes autores:

Leyva *et al.*; (2018) encontraron diferencia estadística significativa entre la velocidad de infiltración básica, mayor para el sistema bosque y en el sistema de pasto cultivado la velocidad de infiltración resultó moderadamente lente, debido a la alta compactación del suelo, producida por el intenso pastoreo.

Bastidas y Botina (2018), demostraron en su estudio sobre las velocidades de infiltración a diferentes uso demostraron que los usos con pastura y el sistemas silvoagrícola presentaron mayores velocidades de infiltración ($6,49$ y $3,63 \text{ cm.h}^{-1}$) en comparación con los usos pastura y sistema silvopastoril ($4,83$ y $2,61 \text{ cm.h}^{-1}$), comportamiento que puede deberse a otro factores diferentes de la materia orgánica, ya que la velocidad de infiltración depende de otros factores como: contenido de humedad, porosidad, condiciones superficiales. Barrio (1984); citado por Bastidas & Botina (2018), menciona que el factor que más incide sobre la tasa de infiltración obtenidas son el uso y el manejo cultural de los lotes.

Taboada (2007) explicaron en el estudio del efecto del pisoteo animal sobre suelos en siembra directa, los resultados de la tasa infiltración fue el 31% más baja en sistemas mixtos que en agricultura continua en un suelo de tipo Argiudol y 62,80% en Hapludol, debido a que la

infiltración es el parámetro más sensible a la compactación por pisoteo ya que es afectada la macroporosidad superficial, principal vía de circulación de agua.

Flores *et al.* (2011) manifiestan que el uso de la ganadería presenta los valores más altos de densidad aparente ($1,40 \text{ g.cm}^{-3}$), esto puede causar la reducción de la tasa de infiltración y flujo de agua en el suelo, disminuyendo el almacenamiento de agua en los estratos inferiores, así como el desarrollo de la vegetación.

Yalli (2017) demostró que el sistema de pastoreo diferido con vacunos y llamas probablemente influyó positivamente con las tasas de infiltración, respuesta asociada con los niveles de compactación del suelo generado por los animales revelando una menor compactación versus campos pastoreados con vacunos.

Tabla 20.

Prueba de Tukey de la Velocidad de infiltración del factor uso del suelo de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

Uso	Medias	n	E.E.	
Maíz	2,77	4	0,49	A
Pasto	0,82	4	0,49	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La prueba de rangos múltiples de Tukey para el nivel de significancia 5% para el factor pendiente se evidencio el promedio de velocidad de infiltración, en el rango de 8-25% ($2,53 \text{ cm.h}^{-1}$) el cual no presenta diferencia estadística del rango 25-58% ($1,06 \text{ cm.h}^{-1}$) (Tabla 21). Aunque no existe diferencia significativa los mayores valores se presentan en el rango de 8 – 25% producto del gran contenido de arena presente, mientras en el otro rango hay más contenido de arcilla. Dichos resultados concuerdan con los de Volverás *et al.*, (2016) al evaluar el efecto del tiempo de uso en diferentes sistemas y pendientes, encontró que estadísticamente el grado de inclinación del terreno no generó un efecto significativo ($p > 0,05$), la lámina total infiltrada disminuyó con el aumento de la pendiente; en suelo cultivado durante 45 y 70 años, la infiltración disminuyó 11,50% y 19%, respectivamente, al pasar de un 12% a un 25% de pendiente.

Tabla 21.

Prueba de Tukey de la velocidad de infiltración del factor pendiente del suelo de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

Pendiente	Medias	n	E.E.	
8-25%	2,53	4	0,49	A
25-58%	1,06	4	0,49	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

8. Conclusiones

- Las condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas en función del uso del suelo, para el uso pasto y maíz en la primera capa se ubicó en la categoría de muy pobre a medio; en el segundo horizonte las condiciones físicas se encuentran de muy pobre a pobre.
- En el primer horizonte las condiciones físicas en el rango de pendiente de 8-25% se encuentra en el rango de pobre a medio, de 25-58% las condiciones físicas se ubican en rango de muy pobre; en el segundo horizonte las condiciones físicas en el rango de 8-25% se encuentra de muy pobre a pobre y de 25-58% se ubica en el rango de muy pobre.
- En la primera capa la capacidad de aireación y de agua aprovechable para el uso maíz se encuentra en el rango medio y alto respectivamente, mientras en el uso pasto se ubica en el rango bajo y medio; en la segunda capa la capacidad de aireación y agua aprovechable para el uso maíz se encuentra en el rango bajo y medio respectivamente y el uso pasto se encuentran el rango bajo y medio.
- La capacidad de aireación y agua aprovechable en la primera capa para la pendiente de 25-58% se ubica en el rango bajo y alto respectivamente; de 8-25% ubicado en el rango medio. En la segunda capa la capacidad de aireación y agua aprovechable se encuentran en el rango bajo y medio respectivamente en las dos pendientes en estudio.
- La velocidad de infiltración en el uso maíz es $2,77 \text{ cm.h}^{-1}$ calificado como media y el uso pasto es $0,82 \text{ cm.h}^{-1}$ equivalente a moderadamente lente.

9. Recomendaciones

- Realizar estudios de variables (datos del clima, datos del cultivo, datos de la fuente, etc.) para el diseño agronómico para dar respuesta a la pregunta de cuando hasta cuando regar y esta forma disminuir las pérdidas de agua durante el riego para finalmente incrementar para la producción.
- Realizar el estudio de las propiedades químicas para determinar otros problemas que pueden estar afectando a la producción
- Mejorar la capacidad de aireación aplicando técnicas tales como enmiendas con cal, abonos orgánicos para, remover las primeras capas.

10. Bibliografía

- Bastidas, K., y Botina, A. (2018). Características fisicoquímicas del suelo y su asociación con la materia orgánica en diferentes sistemas productivos, Nariño. San Juan de Pasto, Colombia. Obtenido de <http://sired.udenar.edu.co/5450/1/ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>
- Blum W. (2013). Soil and land resources for agricultural production: General trends and future scenarios - A worldwide perspective. International Soil and Water Conservation Research. 1(3):1-14. obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/82484124.pdf>
- Burbano, H. (2001). Lo biorgánico en el manejo productivo del suelo. In: Manejo productivo de suelos para cultivos de alto rendimiento. Palmira: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 109-128 p.
- Cadena, H. (2016). Hablemos de riego (Segunda ed.). Quito, Ecuador: El Telégrafo EP.
- Calvache, M. (1998). Manejo del agua en fertirrigación. Memorias del primer seminario internacional de Fertirrigación. INPOFOS, Quito. 20 p.
- Ceballos, A., Martínez, J., Hernández, V., Morán, C., y Casado, S. (2005). Variabilidad espacio-temporal de la humedad del suelo en el sector semiárido de la cuenca del Duero (España). *Rev. C & G.*, 19 (3-4), 63-77. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/41815836_Variabilidad_espacio-temporal_de_la_humedad_del_suelo_en_el_sector_semiarido_de_la_cuenca_del_Duero_Espana.
- GAD de Chuquiribamba. (2014). Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Chuquiribamba. Loja . Obtenido de <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/14796/1/Monta%C3%B1o%20Ord%C3%B3%C3%B1ez%20Julio%20Alexander.pdf>
- Cisneros, R. (2003). Riego y Drenaje. Centro de Investigación y Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí
- Cobos, S. (2019) Sistema de información geográfica preliminar del sistema de riego Campana – Malacatos. Tesis de Ing. Agrícola. Universidad Nacional de Loja.

- Daza, M., Hernández, F., y Triana, F. (2014). Efectos del uso del suelo en la capacidad de almacenamiento hídrico en el páramo de Sumapaz - Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín* ISSN: 0304-284. Colombia. Obtenido de <https://doi.org/10.15446/rfnam.v67n1.42642>
- Di Rienzo J., Casanoves F., Balzarini M., Gonzalez L., Tablada M., y Robledo C., (2008). *InfoStat*, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Durán, E. (2015). Análisis del potencial de infiltración en suelos de la región de Linares-Hualahuis, Nuevo León. Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/15774/1/1080237716.pdf>
- Fernández, L., Buyolo, T., y Cabezas, J. (2006). Efectos del pastoreo en clima mediterráneo árido sobre propiedades físicas del suelo. Badajoz, España . Obtenido de <https://www.edafologia.net/revista/tomo13c/articulo161.pdf>
- Ferrero, A. (1991). Effect of compaction simulating cattle trampling on soil physical characteristics in woodland. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016719879190099J>
- Flores, B., Ferrer, J., y Florentino, A. (2011). Cambios en las propiedades físicas del suelo bajo diferentes usos en la subcuenca Callecitas del Río “El Castrero”. Venezuela. Obtenido de: [10.13140/RG.2.2.18719.56487](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18719.56487)
- Foley, J., De Fries, R., Asner, G., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S., and Snyder, P. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309,570 574
- Giménez, R. (s.f.). Física del Suelo. Obtenido de <file:///D:/Downloads/Fisica%20del%20Suelo.pdf>
- García, J., Sosa, F., y Ullivarri, J. (s.f.). El Agua en el suelo . *Catedra de Edafologia. Facultad de Agronomia y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán .*
- 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.

- González, R.(2013). Evaluación de la calidad del suelo para diferentes usos de suelo y cubiertas vegetales en la ladera Este del Cerro Grande, comunidad Dexcani Alto, municipio de Jilotepec. Tesis de Lic. en Ciencias ambientales. obtenido de: <https://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/58561/Evaluaci%F3n%20de%20la%20calidad%20del%20suelo%20para%20diferentes%20usos%20y%20vegetaci%F3n.pdf?sequence=1>
- Jarramillo, D. (2002). Introduccion a la Ciencia del Suelo. Medellin. , Colombia. Obtenido de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70085>
- Keller, T., and Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma* 154: 398-406
- Lanzanova, M., Nicoloso, R., Lovato, T., Eltz, F., Amado, T., e Reinert, D. (2007). Atributos físicos do solo em sistema de integração lavoura pecuária sob plantio direto. *Ver. Bras. Ci. Solo.* 31(5):1131-1140. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832007000500028>
- 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>.
- Lopez, A. (2007). Manual de Edafología . Sevilla. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química. Agrícola de la Universidad de Sevilla.
- Luna, C. (2006). Aumento de la Productividad de Caña de Azúcar por Unidad de Área Cultivada. TECNICAÑA – Asociación de Técnicos Cultivadores de Caña. 19 págs.
- Moreno, H., Gilbert, J., y Ibañez, S. (s.f.). El color del suelo. Valencia, España .
- 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 Ing. Agrícola. Universidad Nacional de Loja.
- Pizarro, et. al., (2013). Curva de infiltración. Módulo 3. Sociedad Estándares de Ingeniería para Aguas y Suelos.

- Pla I. (1994). Labranza, propiedades físicas y producción de maíz en los llanos occidentales. Ponencia presentada en: Taller sobre Prácticas de Labranza en los Sistemas de Producción con Maíz en los Llanos Occidentales; Araure, Venezuela.
- Porta, J., Lopez, M., y Poch, R. (2014). Edafología. Uso y protección de Suelos. Tercera Edición. Editorial: Mundi Prensa. España.
- Primavesi, A. (1984). Manejo ecológico del suelo; la agricultura en regiones tropicales. 5. Ed. Buenos Aires: El Ateneo. 499 p.
- Pozo, J. (2016) Caracterización físico-química de suelos actualmente productores de pastos y/o forrajes en el periodo lluvioso (PLL) y poco lluvioso (PPLL) para determinar su aptitud, Hacienda “La Concepción” Parroquia Tufiño. Tesis de Ing. en Desarrollo Integral Agropecuario. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Obtenido de <http://repositorio.upec.edu.ec/bitstream/123456789/560/1/313%20caracterizaci%C3%B3n%20f%C3%ADsico-qu%C3%ADmica%20de%20suelos%20actualmente%20productores%20de%20pasto.pdf>
- Reinoso, F. (2011). Riegos y Drenajes. (Vol. Unidad 3.). Loja, Ecuador .
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce, J., y Hill, M. (2004). Propiedades Físicas Del Suelo. Facultad de Agronomía, Montevideo.
- SENA, (2013). Manual de Prácticas de Campo y del laboratorio de suelos. Servicio Nacional de aprendizaje. Tolima.
- Silva, P., Acevedo, E., y Silva, H. (2000). Manual de estudio y ejercicios (Segunda ed.). Chile.
- Taboada, M., y Alvarez, C. (2008). Fertilidad física de los suelos. 2da Ed. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.
- Taboada, A. (2007). Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos en siembra directa. Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, Fac. de Agronomía UBA. Obtenido de https://www.produccion-animal.com.ar/suelos_ganaderos/49-efectos_pisoteo.pdf
- Valarezo, C. (2008). Determinación de la Infiltración. Universidad Nacional de Loja.

- 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. Area Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables
- 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 Aguaronco de la parroquia Chuquiribamba del cantón Loja. Proyecto de vinculación con la sociedad.
- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., y Guaya, P. (1998). Condiciones físicas de los suelos de la region sur del Ecuador . Loja : Gráficas Cosmos.
- Valarezo, L. (1997). Desarrollo Agrícola y Diseños de Riego (Goteo, Aspersión, Microaspersión, Gravedad) en las Granjas Garza Real del Cantón Zapotillo y Salapa del Cantón Loja. Estudio de Consultoría. Subcomisión Ecuatoriana-PREDESUR. Loja-Ecuador
- Valarezo, L., Valarezo, C., y Mancino, M. (2020). Producción agropecuaria sostenible en suelos arcillosos del piso templado andino del sur del Ecuador. Loja, Ecuador: EDILOJA Cía. Ltda. ISBN-978-9978-355-63-3. Obtenido de <https://unl.edu.ec/sites/default/files/archivo/2021-01/Produccion%20Agropecuaria%20Sostenible%20en%20Suelos%20Arcillosos%20del%20Piso%20Temperado%20Andino%20del%20Sur%20del%20Ecuador.pdf>
- Vargas, B., Escobar, Y., Rodríguez, R., Ramos, Y., Rodríguez, E., y Fuente, O. (2020). Propiedades químicas del suelo en cuatro fincas de la agricultura suburbana en Santiago de Cuba. Agrisost, 26(3), 1-10. Obtenido de <https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/agrisost/article/view/e3323>
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., y Cañamero, M. (2017). Fundamentos de la Ingeniería Agrícola. Lima,, Perú: Q&P Impresores S.R.L. Obtenido de <http://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/ingenieria-de-riegos.pdf>
- Villafáfila, E., y Wyss, V. (2009). Riego en Horticultura. (A. E. -, Ed.) Recuperado el 2019.

- Villar, B., Tosquy, O., López, E., Esqueda, V., y Palacios, G. (2013). Impacto de la pendiente y tres sistemas de producción sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, vol. 16, núm. 3, septiembre-diciembre, 2013, pp. 497-504 Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93929595019.pdf>
- Volverás B., Amézquita, E., y Campo, J. (2016). Indicadores de calidad física del suelo de la zona cerealera andina del departamento de Nariño, Colombia. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*. 17(3):361-377. Obtenido de https://doi.org/10.21930/rcta.vol17_num3_art:513
- Williams J., and Ouyang Y. (1998). Estimation of Infiltration Rate in Vadose zone: Application of Selected Mathematical Models, I, EPA, Oklahoma, Estados Unidos, pp. 1-16.
- Yalli, T. (2017). Efecto del pastoreo con llamas y vacunos en la función hídrica del pastizal. Lima, Peru. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3480>

11. Anexos.

Anexo. 1: Oficio de aprobación y designación de director del trabajo de titulación.



**UNIVERSIDAD
NACIONAL DE LOJA**

FACULTAD AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
CARRERA DE INGENIERIA AGRICOLA
Fecha de Creación 29 de julio de 1975

Oficio Nro. 144-CIA-AARNR-UNL
Loja, 12 de marzo de 2020

Doctora
Patricia del Consuelo Solórzano Sarmiento
**SECRETARIA-ABOGADA DEL FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES RENOVABLES,**
Ciudad.-

De mi consideración:

Para su conocimiento y fines legales consiguientes cúpleme comunicarle que el doce de marzo de dos mil veinte, de conformidad con el Art. 136, del Reglamento de Régimen Académico de la Universidad Nacional de Loja, se procedió a aprobar el Proyecto de Tesis titulado: *EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS EN EL SISTEMA DE RIEGO AGUARONGO – ZAÑE DE LA PARROQUIA CHUQUIRIBAMBA* autoría del señor **RUBEN DARIO SOTO COLLAGUÁZO**, estudiante de la Carrera de Ingeniería Agrícola; y se designó al Ingeniero **Miguel Ángel Villamagua**, en calidad de **Director**; quien será el responsable del trabajo de investigación en todas sus fases hasta su culminación.

En consecuencia, se adjunta un ejemplar del Proyecto de Tesis y documentos de lo actuado para los fines consiguientes.

Muy atentamente,

Dr. Jorky Roosevelt Armijos Tituana M.Sc.
DECANO DE LA FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES RENOVABLES

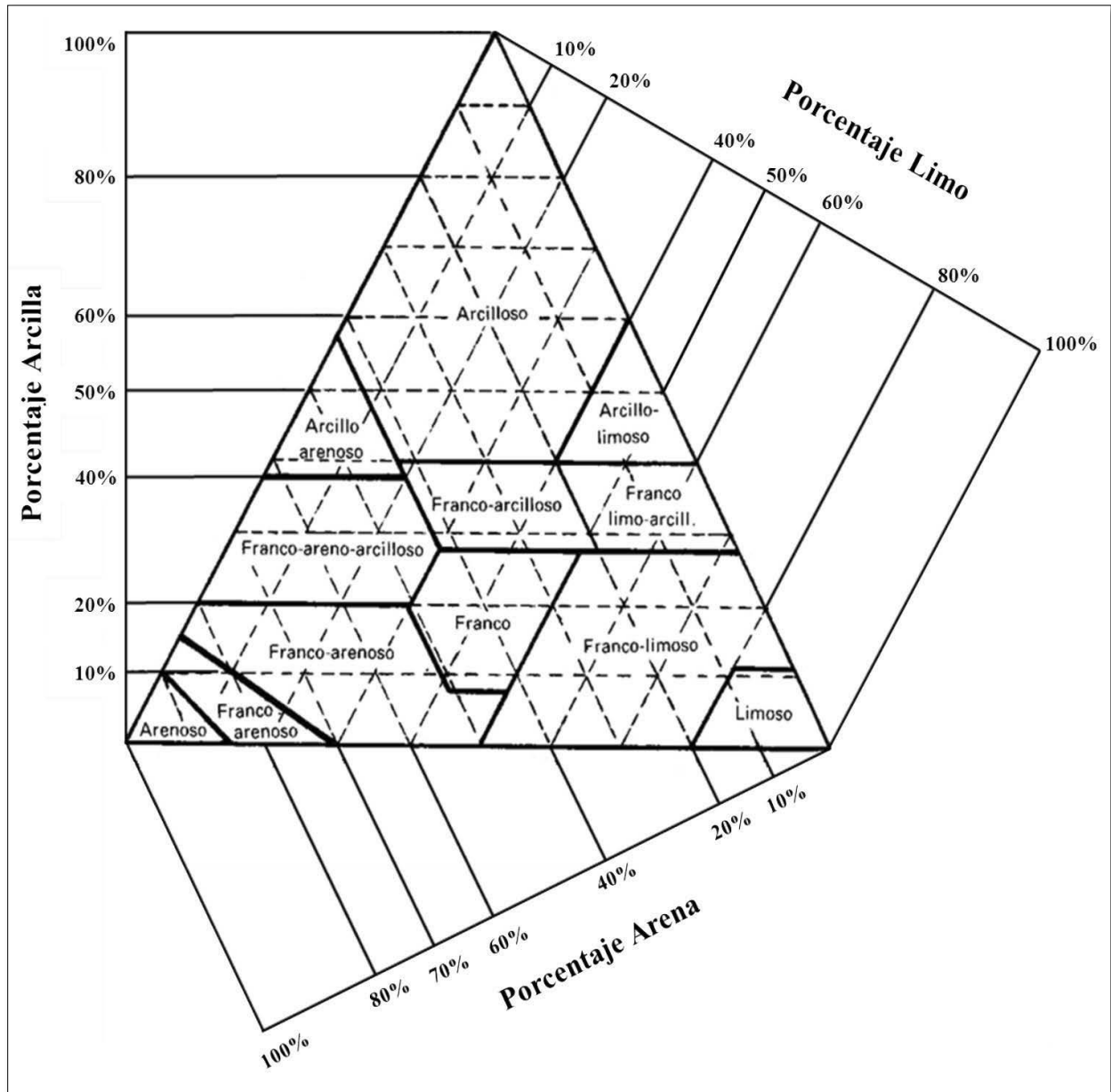


Adj: Proyecto
c.c. Director de tesis
Interesado
Archivo

Cecilia Ledema Y.

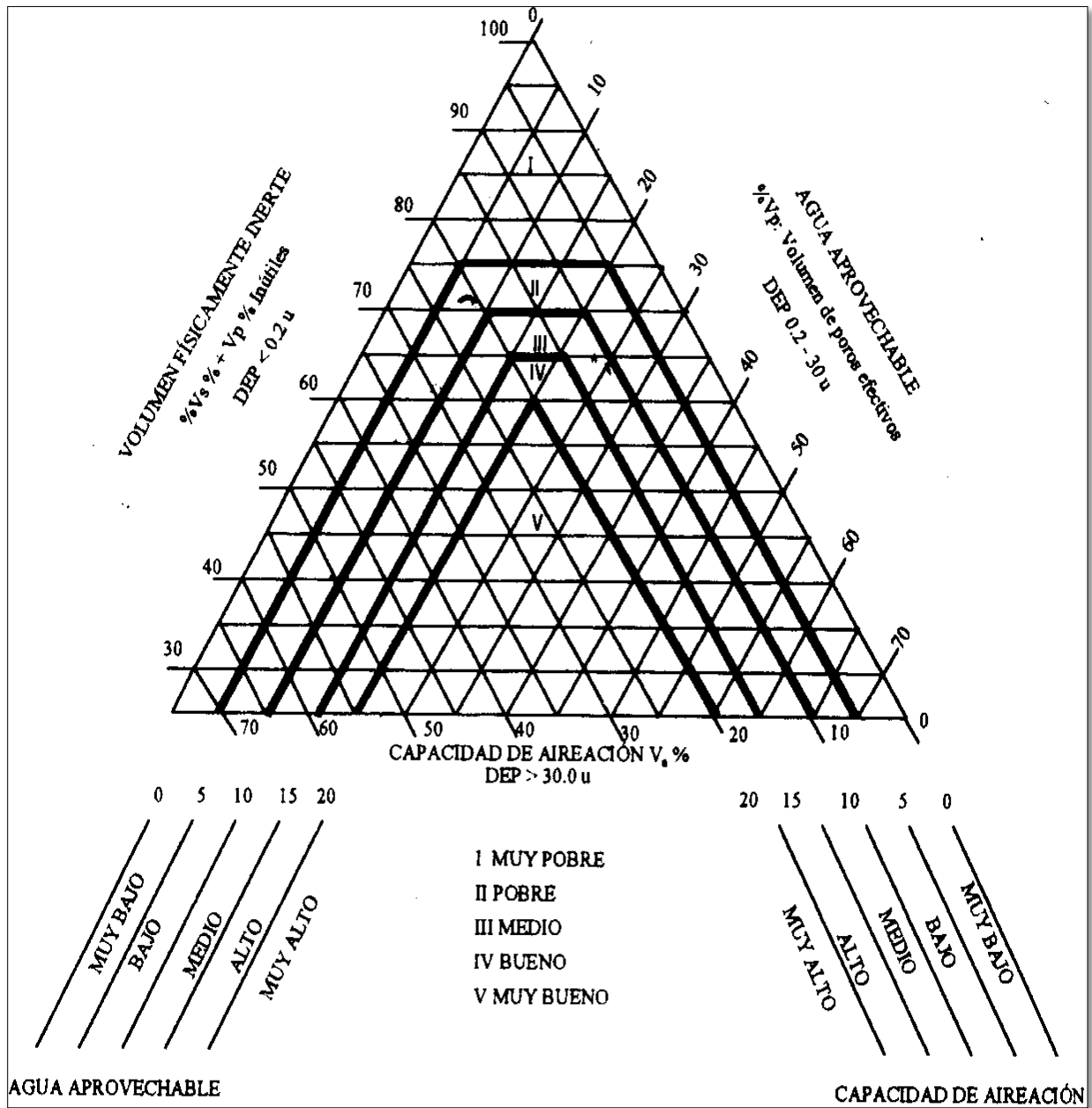
Ciudadela Universitaria "Guillermo Falconi Espinosa"
Telefax 07 2546671 Ext. 104

Anexo. 2: Triangulo de textura.



Fuente: Vázquez, *et. al.*, 2017.

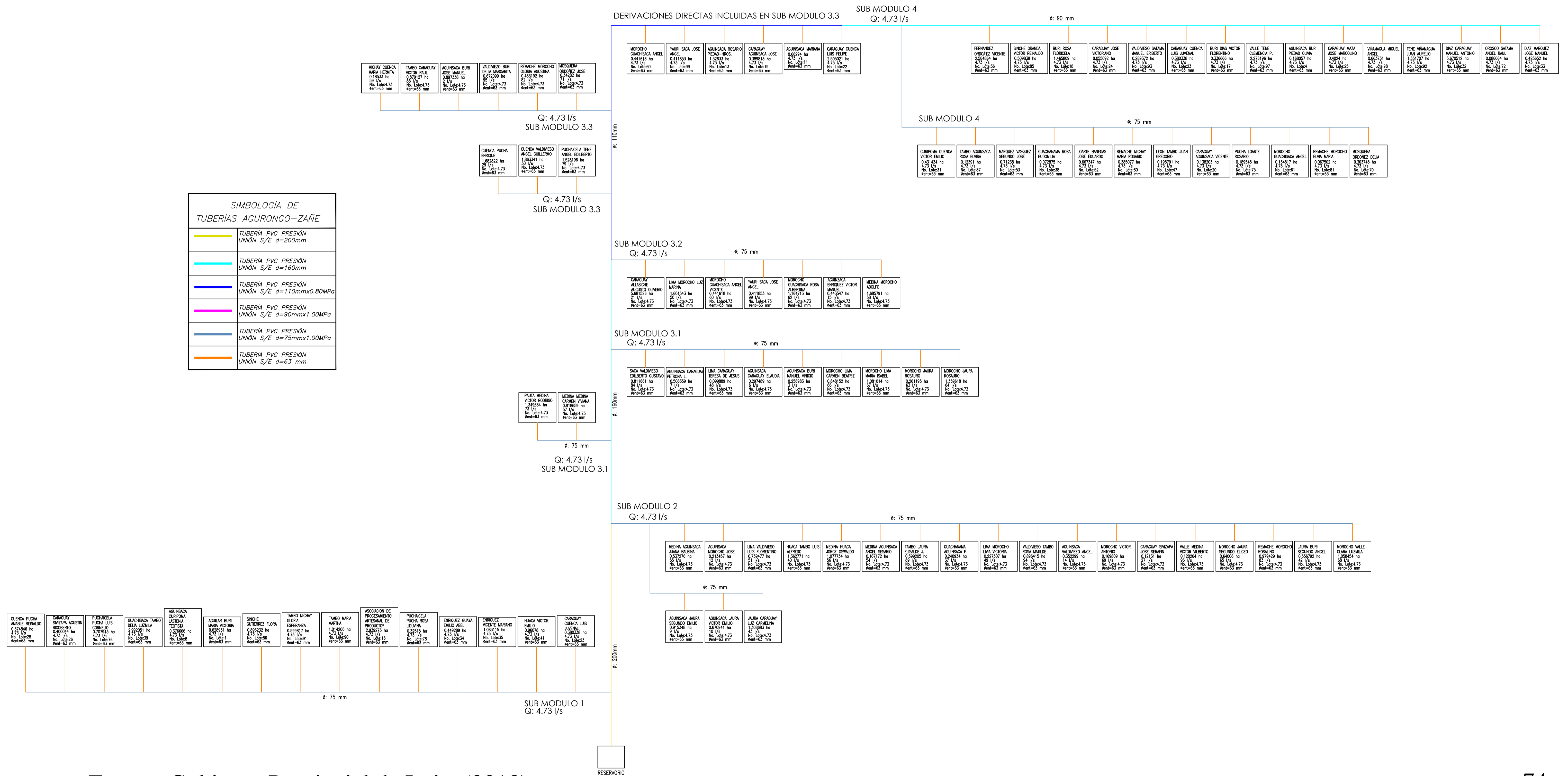
Anexo. 3: Diagrama triangulo para la para la evaluación de las condiciones físicas del suelo.



Fuente: Valarezo *et al.*, (1998).

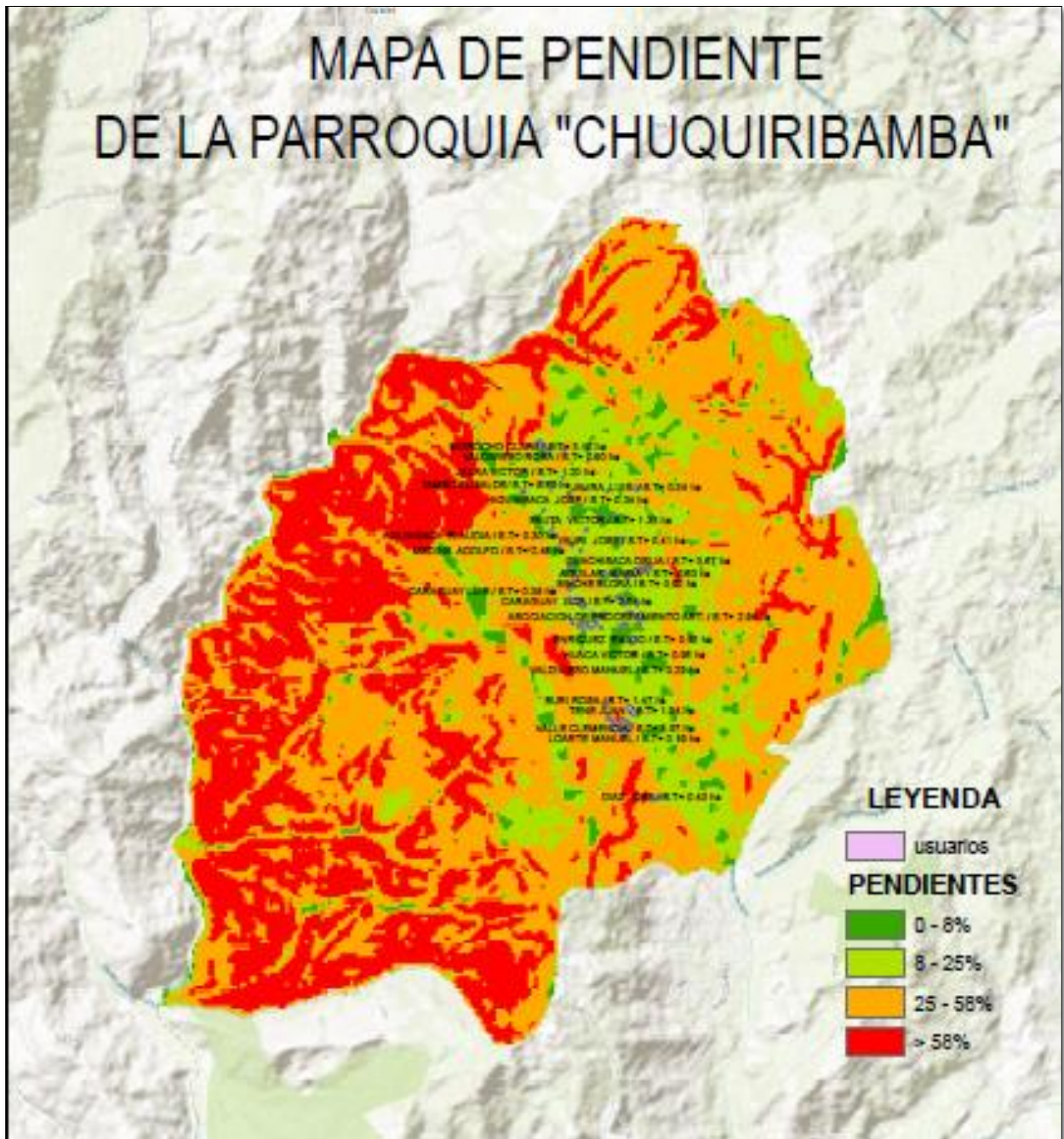
Anexo. 4: Esquema de los ramales del sistema de riego Aguarongo-Zañe.

ESQUEMÁTICO RAMALES AGUARONGO - ZAÑE



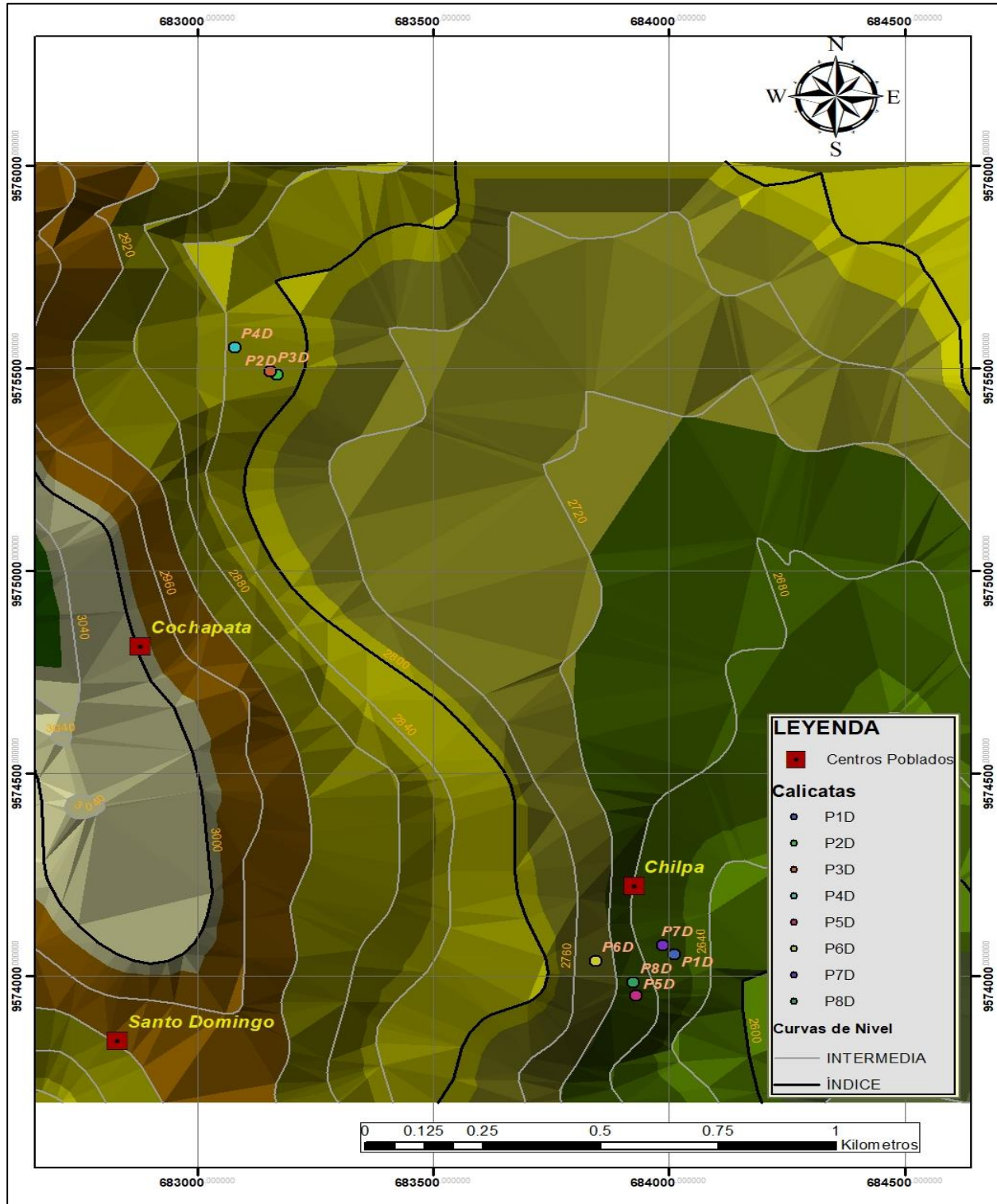
Fuente: Gobierno Provincial de Loja, (2018).

Anexo. 5: Mapa de pendientes de la parroquia de Chuquiribamba.



Fuente: El Autor

Anexo. 6: Localización de la zona de estudio.



Fuente: El Autor.

Anexo. 7: Medición de la pendiente en Pasto y maíz con el clinómetro.



Anexo. 8: Ficha de Descripción de los Perfiles de Suelos del Sector La Dolorosa en los Sitios Seleccionados en Función del Uso del Suelo y la Pendiente del Terreno.

Código: P1D. **Fecha:** **Autor:** Ruben Dario Soto Collaguazo. **Sitio:** La Dolorosa.

Altitud: 2657 m.s.n.m. **Coordenadas** 9 574054 N, 17M 0684012 E. **Pendiente:** 12%

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

Uso Actual o cobertura vegetal: maíz

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

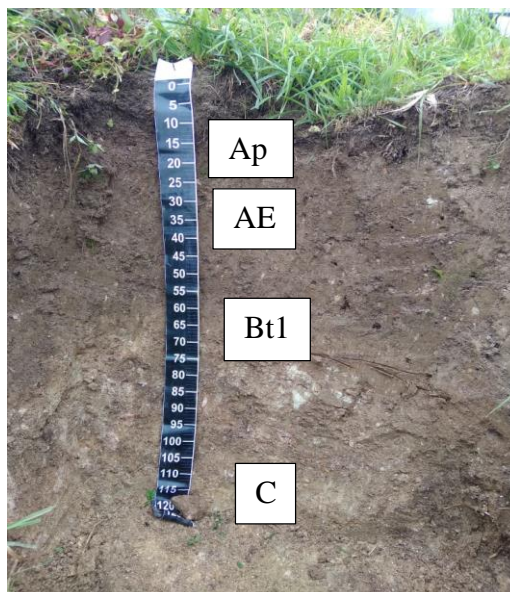
Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Tobas dacitas alteradas.

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

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

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Suelo muy profundo (120 cm), conformado por 4 horizontes: un horizonte Ap de 10 cm de espesor, franco a franco limoso al tacto; un horizonte AE de 20 cm de espesor, franco a franco limoso; un horizonte Bt1 de 15 cm de espesor, franco a arcilloso y un horizonte C de 55 cm de espesor, franco arcilloso a arenoso. Todos los horizontes no presentan manchas demostrando un buen drenaje del suelo. Las raíces finas y muy finas se observan en todos los horizontes.



Descripción individual de los horizontes o capas PID:

Ap 00 – 10 cm	Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; franco a franco limoso al tacto; bloques subangulares medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, plástico y friable en húmedo; raíces abundantes, finas; límite brusco y plano.
AE 10 – 30 cm	Marrón amarillento oscuro (10YR 3/6) en húmedo; franco a franco limoso al tacto; bloques subangulares medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, plástico y friable en húmedo; raíces abundantes, finas; límite brusco y plano.
Bt1 30 - 45 cm	Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; franco a arcilloso al tacto; bloques subangulares medios, masivamente desarrollados; adherente, muy plástico y friable en húmedo; con presencia de raíces comunes muy finas; límite brusco y plano.
C 45 -100 cm	Amarrillo (10YR 8/8) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares media, moderadamente desarrollados; adherente, ligeramente plástico y firme en húmedo; con presencia de raíces pocas finas; límite brusco y plano.

Código: P2D. **Fecha:**01/04/2021 **Autor:** Ruben Dario Soto Collaguazo. **Sitio:** La Dolorosa

Altitud: 2795 m s.n.m. **Coordenadas** 9 575484 N, 17M 0683169 E. **Pendiente:** 20%.

Paisaje: ladera de una colina; **Tipo de relieve:** loma; **Forma del Terreno:** pendiente baja.

Uso Actual o cobertura vegetal: Hortalizas

Condiciones de Humedad: húmedo **Pedregosidad superficial:** 10%; **Tamaño:** 8 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Andesita Basáltica.

Profundidad de la capa freática: profundidad: 0 cm fluctuación cm

Presencia de Sales o Alcalis: No; **Drenaje:** bueno



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo (120 cm), constituido por los siguientes horizontes: un horizonte Ap de 20 cm de espesor, franco al tacto; un horizonte Bw1 de 30 cm de espesor, franco; un horizonte Bw2 de 25 cm de espesor, franco; un horizonte Bc de 45 cm de espesor, franco arenoso, Sin presencia de manchas en todos los horizontes demostrando un buen drenaje del suelo. La presencia de raíces medianas, finas y muy finas en sus 4 horizontes.

Descripción individual de los horizontes o capas P2D:

- | | |
|----------------|--|
| Ap 00 – 20 cm | Marrón (10YR 4/3) en húmedo; franco al tacto; bloques subangulares medios y grueso, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; con presencia de poros medianos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con forma angular; raíces comunes y medias; límite brusco y plano. |
| Bw1 20 - 50 cm | Marrón amarillento oscuro (10YR 4/6) en húmedo; franco al tacto; bloques subangulares medios y gruesos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, firme en húmedo; con presencia frecuentes de poros finos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con forma angular; raíces pocas y finas; límite brusco y plano. |
| Bw2 50 - 75 cm | Amarillo (10YR 7/8) en húmedo; franco al tacto; bloques angulares, muy finos, medios y gruesos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico y friable en húmedo; con presencia de pocos poros muy finos; muy pocos fragmentos rocosos de tamaño piedra con forma angular, sin presencia de raíces; límite brusco y plano. |

BC 75-120 cm Amarillo (10YR 7/8) en húmedo; franco arenoso al tacto; bloques angulares, muy fina, fina y media, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; con presencia de frecuentes poros finos; fragmentos rocosos frecuentes de tamaño de grava con forma angulares; sin presencia de raíces; límite brusco y ondulado.

Código: P3D. **Fecha:**05/04/2021 **Autor:** Ruben Dario Soto Collaguazo. **Sitio:** La Dolorosa.

Altitud: 2795 m s.n.m. **Coordenadas** 9575493 N, 17M 0683154 E. **Pendiente:** 24%

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

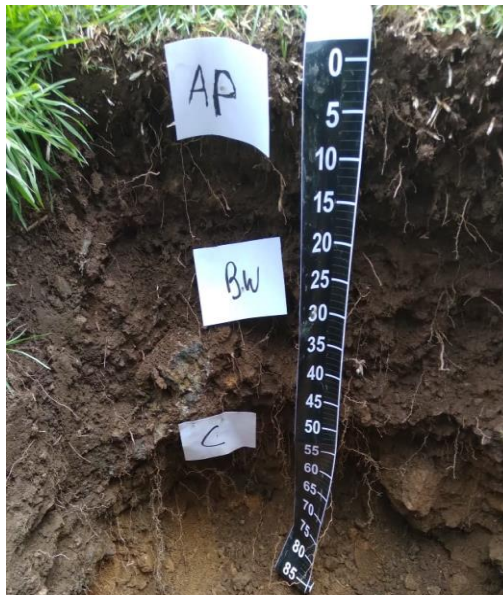
Uso Actual o cobertura vegetal: Pasto

Condiciones de Humedad: Húmedo. **Pedregosidad superficial:** 1%; **Tamaño:** 10 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Andesita.

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

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



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Suelo modernamente profundo (90 cm), constituido por tres horizontes: un horizonte Ap de 15 cm de espesor, franco arenoso; un horizonte Bw de 35 cm de espesor, franco arcilloso; un horizonte C de 70 cm de espesor, arenoso, presenta raíces finas, medias y gruesas en sus tres horizontes, sin presencia de manchas en el perfil demostrando un buen drenaje del suelo.

Descripción individual de los horizontes o capas P3D:

Ap 00 – 15 cm	Marrón amarillento oscuro (10 YR 3/4) en húmedo, franco arenoso al tacto; bloques subangular finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; con presencia de pocos poros muy finos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con forma angular; raíces muy finas, medianas y abundantes, finas; límite brusco y plano.
Bw 15– 50 cm	Marrón amarillento oscuro (10 YR 3/6) en húmedo, franco arcilloso al tacto; bloques subangulares media, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; con presencia de pocos poros muy finos; fragmentos rocosos frecuentes de tamaño de grava con forma angular; raíces muy finas, medianas y abundantes, finas; límite neto y plano.
C > 50 cm	Marrón amarillento (10 YR 5/6) en húmedo, arenoso al tacto; sin estructura; no plástico, suelto en húmedo; fragmentos rocosos frecuentes de tamaño de grava con forma angular; raíces finas abundantes, brusco y plano.

Código: P4D. **Fecha:**05/04/2021 **Autor:** Ruben Dario Soto Collaguazo. **Sitio:** La Dolorosa.

Altitud: 2801 m s.n.m. **Coordenadas** 9 575552 N, 17M 0683078 E. **Pendiente:** 15%

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

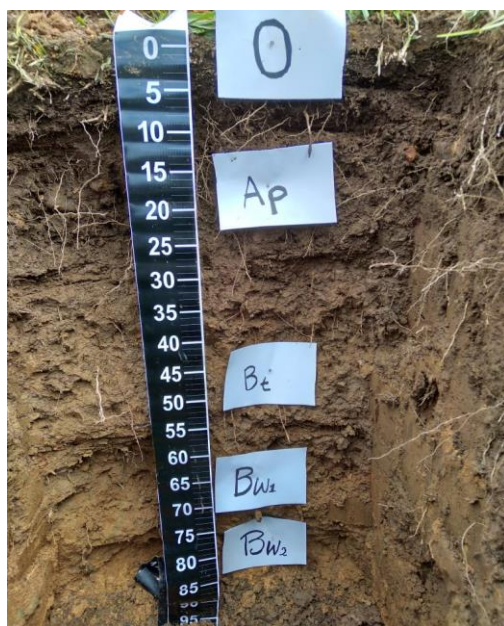
Uso Actual o cobertura vegetal: Pasto

Condiciones de Humedad: húmedo. **Pedregosidad superficial:** 1%; Tamaño: 8 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Andesita Basáltica, Toba Andesitica

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

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



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Suelo modernamente profundo (90 cm), constituido por los siguientes horizontes: una capa orgánica de 5 cm de espesor de material orgánico bien descompuesto; un horizonte Ap de 20 cm de espesor, franco al tacto; un horizonte Bt de 30 cm de espesor, arcilloso; un horizonte Bw1 de 20 cm de espesor, franco arcilloso; un horizonte Bw2 45 cm de espesor, franco. Todos los horizontes no presentan manchas demostrando un buen drenaje del suelo. Las raíces finas y muy finas se observan hasta los 75 cm de profundidad.

Descripción individual de los horizontes o capas P4D:

- | | |
|----------------|--|
| O 00 – (-5 cm) | Horizonte orgánico, con abundantes raíces, muy finas, finas y gruesas. |
| Ap 00 – 20 cm | Marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco al tacto; bloques subangulares finos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; con presencia de poros muy finos; muy pocos fragmentos rocosos de tamaño grava con forma angular; raíces abundantes, muy finas; límite brusco y plano. |
| Bt 20- 50 cm | Marrón amarillento oscuro (10YR 4/6) en húmedo; arcilloso al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo; con presencia de pocos poros finos; sin presencia de fragmentos rocosos; raíces pocas, finas; límite brusco y plano. |
| Bw1 50- 70 cm | Marrón amarillento (10YR 5/4) en húmedo; franco arcillo al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico y friable en húmedo; con presencia de poros; muy pocos fragmentos rocosos de tamaño grava con forma subangular; raíces muy pocas, muy finas; límite brusco y plano. |

Bw2 > 70 cm Amarillo pardusco (10 YR 6/8) en húmedo; franco al tacto; bloques subangulares, finos, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo; con presencia frecuente de poros finos; muy pocos fragmentos rocosos de tamaño piedra con forma subangular; sin presencia de raíces; limite brusco y plano.

Código: P5D. **Fecha:**05/04/2021 **Autor:** Ruben Dario Soto Collaguazo. **Sitio:** La Dolorosa

Altitud: 2795 m s.n.m. **Coordenadas** 9 573952N, 17M 0683931 E. **Pendiente:** 42%.

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

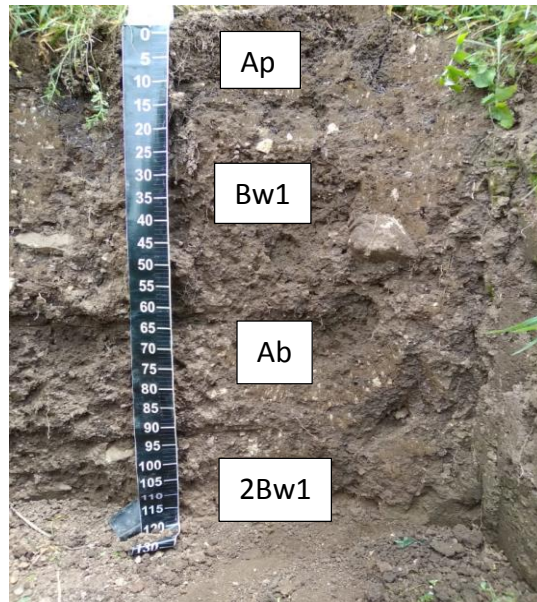
Uso Actual o cobertura vegetal: Hortalizas

Condiciones de Humedad: Seco **Pedregosidad superficial:** 2%; **Tamaño:** 5 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Andesita Basáltica.

Profundidad de la capa freática: profundidad: 0 cm fluctuación cm

Presencia de Sales o Alcalis: No; **Drenaje:** bueno



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo (120 cm), constituido por los siguientes horizontes: una ligera un horizonte Ap de 20 cm de espesor, franco arcilloso; un horizonte Bw1 de 50 cm de espesor, franco arcilloso; un horizonte Ab de 30 cm de espesor, franco arcilloso; un horizonte 2Bw1 de 10 cm de espesor, franco, todos los horizontes no presentan manchas demostrando un buen drenaje del suelo. La presencia de raíces medianas, finas y muy finas hasta 70 cm, presentan resto de actividades humanas en los tres primeros horizontes.

Descripción individual de los horizontes o capas P5D:

Ap 00 – 20 cm	Marrón (10YR 4/3) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares finos, medios y grueso, moderadamente desarrollados; adherente, plástico y friable en húmedo, ligeramente duro en seco; con presencia de frecuentes poros finos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con forma angular; restos de actividades humanas; raíces finas; límite brusco y plano.
Bw1 20 - 70 cm	Marrón (10YR 4/3) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques angulares medios y gruesos, moderadamente desarrollados; adherente, plástico y friable en húmedo, duro en seco; con presencia frecuentes de poros finos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con formas angular; restos de actividades humanas; raíces pocas, finas; límite neto y plano.
Ab 70-110 cm	Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques angulares, finos y medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico y friable en húmedo, duro en seco; con presencia frecuente de poros finos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con formas angular; restos de actividades humanas; sin presencia de raíces; límite neto y plano.
2Bw1 >120 cm	Marrón (10YR 4/3) en húmedo; franco al tacto; bloques subangulares, finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico y friable en húmedo, ligeramente duro en seco; con presencia de pocos poros finos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con forma angular; sin presencia de raíces; límite neto y plano.

Código: P6D. **Fecha:**07/04/2021 **Autor:** Ruben Dario Soto Collaguazo. **Sitio:** La Dolorosa

Altitud: 2688 m s.n.m. **Coordenadas** 9 574037 N, 17M 0683844 E. **Pendiente:** 44 %.

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

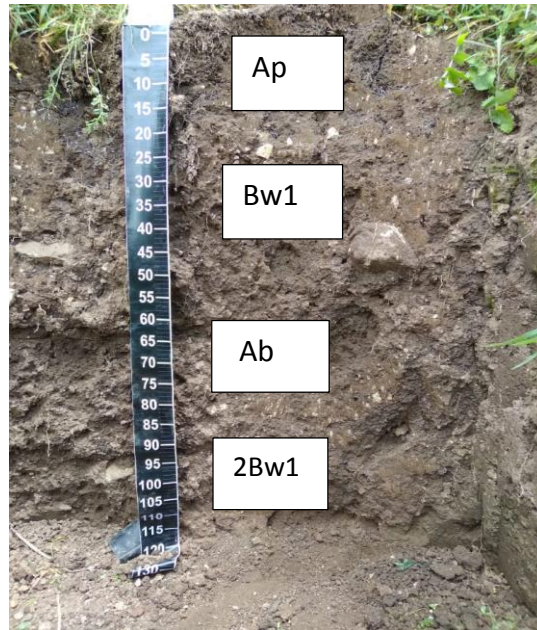
Uso Actual o cobertura vegetal: Hortalizas

Condiciones de Humedad: seco **Pedregosidad superficial:** 2 %; Tamaño: 10 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Dacita.

Profundidad de la capa freática: profundidad: 0 cm fluctuación cm

Presencia de Sales o Alcalis: No; **Drenaje:** bueno



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL

Suelo muy profundo (120 cm), constituido por los siguientes horizontes: un horizonte Ap de 10 cm de espesor, franco al tacto; un horizonte Bw1 de 55 cm de espesor, franco arcilloso; un horizonte Ab de 30 cm de espesor, franco arcilloso; un horizonte 2Bw1 de 25 cm de espesor, franco arcilloso. La presencia de raíces medianas, finas y muy finas. En los horizontes 2 y 3 presenta resto de actividades humanas.

Descripción individual de los horizontes o capas P6D:

- | | |
|----------------|---|
| Ap 00 – 10 cm | Marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; ligeramente adherente, ligeramente plástico y friable en húmedo, ligeramente duro en seco; con presencia de poros frecuentes, finos y medianos; muy pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con formas redondeados; raíces abundantes, muy finas y finas; límite brusco y plano. |
| Bw1 10 - 65 cm | Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico y friable en húmedo, duro en seco; con presencia de muchos poros finos y medianos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con forma angular; restos de actividades humanas; raíces pocas, finas; límite brusco y plano. |
| Ab 65 - 95 cm | Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico y friable en húmedo, duro en seco; con presencia de pocos poros finos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con forma angular; restos de actividades humanas; con presencia de raíces muy finas; límite brusco y plano. |

2Bw1 95 -120 cm Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo; franco arcilloso al tacto; bloques subangulares media, moderadamente desarrollados; adherente, plástico y friable en húmedo; con presencia de pocos poros finos, medianos y gruesos; pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con forma subangular; con presencia de raíces pocas finas; límite brusco y ondulado.

Código: P7D. **Fecha:** **Autor:** Ruben Dario Soto Collaguazo. **Sitio:** La Dolorosa.

Altitud: 2654 m s.n.m. **Coordenadas** 9 574077, 17M 0683988 E. **Pendiente:** 44%

Paisaje: montaña; **Tipo de relieve:** vertiente cresta; **Forma del Terreno:** pendiente media o espalda de ladera.

Uso Actual o cobertura vegetal: Pasto

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

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Tobas dacíticas

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

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



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Suelo muy profundo (120 cm), constituido por los siguientes horizontes: un horizonte Ap de 15 cm de espesor, franco arcillo limoso; un horizonte Bt1 de 25 cm de espesor, arcilloso limoso; un horizonte Bt2 de 20 cm de espesor, arcilloso limoso; un horizonte C 60 cm de espesor, franco arcillo limoso. Todos los horizontes no presentan manchas demostrando un buen drenaje del suelo. Las raíces finas y muy finas se observan hasta los 1m de profundidad. En el horizonte C se observan algunos restos del material parental que han sido fuerte mente alterado, además todos los horizontes no presentan manchas demostrando un buen drenaje del suelo.

Descripción individual de los horizontes o capas P7D:

Ap 00 – 15 cm	Marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco arcillo limoso al tacto; bloques subangulares medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, firme en húmedo; sin presencia de poros; raíces abundantes, finas y grandes; límite brusco y plano.
Bt1 15-40 cm	Marrón amarillento oscuro (10YR 4/6) en húmedo; arcilloso limoso al tacto; bloques subangulares grandes, bien desarrollados; adherente, plástico, firme en húmedo; sin presencia de poco; sin presencia de fragmentos rocosos; raíces abundantes, finas y muy finas; límite brusco y plano.
Bt2 40 - 60 cm	Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo; arcillo limoso al tacto; bloques subangulares grande, fuertemente desarrollados; adherente, plástico y firme en húmedo; raíces pocas, finas; límite brusco y plano.
C > 60 cm	Marrón oscuro (10YR 3/3) en húmedo; franco arcillo limosos al tacto; bloques subangulares, grandes, masivamente desarrollados; muy adherente, plástico, firme en húmedo; raíces pocas muy finas; limite brusco y plano.

Código: P8D. **Fecha:**12/04/2021 **Autor:** Ruben Dario Soto Collaguazo. **Sitio:** La Dolorosa.
Altitud: 2690 m s.n.m. **Coordenadas** 9 573985 N, 17M 0 683924 E. **Pendiente:** 44%
Paisaje: colina; **Tipo de relieve:** loma; **Forma del Terreno:** pendiente media

Uso Actual o cobertura vegetal: Pasto

Condiciones de Humedad: seco **Pedregosidad superficial:** 5 %; Tamaño: 12 cm

Afloramientos rocosos: No **Tipo:** No **Material parental:** Toba Dacítica, Andesita.

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

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



DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.

Suelo modernamente profundo (90 cm), constituido por los siguientes horizontes: una capa ligera orgánica de 3 cm de espesor de material orgánico bien descompuesto; un horizonte Ap de 12 cm de espesor, franco arcillo arenoso al tacto; un horizonte A1 de 25 cm de espesor, franco arcilloso; un horizonte Bw de 80 cm de espesor, franco arcilloso. Todos los horizontes no presentan manchas demostrando un buen drenaje del suelo. Las raíces finas y muy finas se observan en todos los horizontes.

Descripción individual de los horizontes o capas PSD:

O 00 – (-3 cm)	Horizonte orgánico, con abundantes raíces, muy finas, finas.
Ap 00 – 15 cm	Marrón amarillento oscuro (10 YR 3/4) en húmedo, franco arcilloso arenoso al tacto; bloques subangular medios, moderadamente desarrollados; adherente, plástico, friable en húmedo, duro en seco; con presencia de pocos poros muy finos; muy pocos fragmentos rocosos de tamaño graven con forma angular; restos de tejas; raíces abundantes muy finas; límite brusco y plano.
A1 15 – 40 cm	Marrón grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en húmedo, franco arcilloso al tacto; bloques angulares media, moderadamente desarrollados; adherente, plástico y friable en húmedo, duro en seco; con presencia de pocos poros finos; pocos fragmentos rocosos de tamaño graven con forma angular; raíces comunes y finas; límite gradual y plano.
Bw > 40 cm	Marrón amarillento (10 YR 5/4) en húmedo, franco arcilloso al tacto; bloques subangulares finos y medios, moderadamente desarrollados adherente, plástico y friable en húmedo, duro en seco; pocos poros finos;

pocos fragmentos rocosos de tamaño gravan con forma angular; raíces muy pocas y finas, brusco y plano.

Anexo. 9: Análisis del material parental en la zona de estudio.

El reconocimiento del material parental se los realizo en el Laboratorio de Mineralogía y Petrografía de la Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables.

El material parental se lo recogió de acuerdo a la zona de estudio.

En la pendiente de 8 a 25%, en los perfiles P1D y P2D con cobertura de Cultivo maíz, se encontró Andesitas basálticas son aquellas que poseen minerales ferromagnéticos típicos del basalto, como el olivino, pero poseen feldespatos con composición química típicas de las andesitas y Tobas dacíticas es una roca volcánica que está compuesta de feldespatos, plagioclasa, hornblenda y piroxeno (augita y/o enstatita).su contenido principal es el hierro.



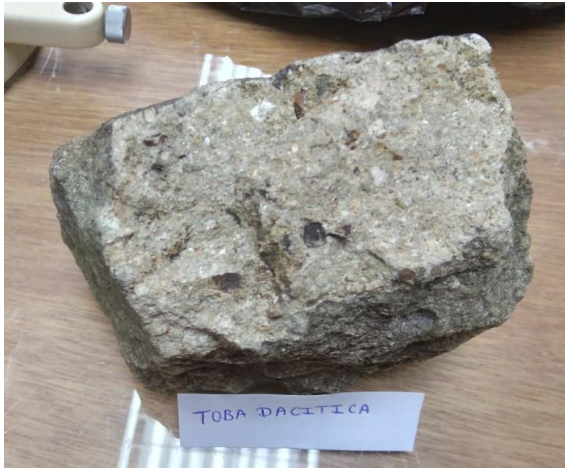
En los perfiles P3D y P4D con uso pasto en el mismo rango de pendientes que la anterior se halló andesitas basálticas, tobas andesíticas y andesitas que es una roca volcánica de composición mineral comprende generalmente plagioclasa y varios otros minerales ferromagnéticos como piroxeno, biotita, y hornblenda.



En la pendiente 25 a 58% en la cobertura maíz, perteneciente a los perfiles P5D y P6D se encontró tobas dacíticas defina anteriormente y dacitas. En el caso de la roca dacita es una roca ígnea extrusiva y también subvolcánica de composición química félsica o ácida, es decir que tienen más del 63% de sílice (SiO_2), su textura típica suele ser porfídica de grano fino a medio, además, mineralógicamente está compuesta de cuarzo, plagioclasas ricas en sodio, y biotitas y anfíboles.



En la cobertura de pasto, de los perfiles P7D P8D, en el mismo rango de pendiente se encontró Andesita, Toba dacítica.



Anexo 10: Análisis de los contenidos de humedad de los perfiles del sistema de riego Aguarongo-Zañe sector La Dolorosa.

Perfil/ Uso	Pendiente %	Porosidad Total % θ_v pF 0	Capacidad de Campo % θ_v pF 2	Capacidad de campo % θ_v pF 2,52	Punto de Marchitez % θ_v pF 4,20	Densidad Aparente (g.cm ⁻³)
P1D Maíz	12	39,14	31,13	30,19	15,91	1,29
		39,44	28,79	30,78	12,57	1,29
		30,92	26,24	25,02	15,12	1,48
		34,60	28,10	26,86	16,67	1,37
P2D Maíz	20	61,38	44,51	44,83	27,25	0,91
		62,95	45,02	45,75	27,44	0,90
		38,81	32,09	32,65	22,56	1,07
		38,25	31,12	31,74	22,88	1,06
P3D Pasto	24	64,23	56,83	53,96	25,95	0,98
		55,16	47,00	45,58	24,81	1,08
		52,28	43,47	43,85	22,22	1,03
		50,52	45,40	43,17	22,56	1,09
P4D Pasto	15	53,67	43,55	44,58	25,14	1,08
		53,65	40,94	40,56	22,38	1,07
		42,36	36,97	36,43	27,11	1,16
		36,51	31,71	31,57	21,76	1,21
P5D Maíz	42	42,82	32,46	31,11	16,96	1,25
		39,72	33,17	32,71	16,67	1,30
		34,91	28,85	27,09	16,67	1,36
		36,74	29,94	29,34	17,05	1,47
P6D Maíz	44	39,36	27,97	28,56	17,68	1,17
		40,81	29,36	27,83	18,83	1,09
		32,23	26,01	25,3	16,57	1,42
		31,52	26,31	25,93	16,67	1,43
P7D Pasto	44	37,43	29,05	31,02	13,51	1,31
		34,23	27,97	27,85	12,80	1,38
		29,54	24,48	23,64	14,49	1,54
		27,98	22,95	22,09	13,61	1,53
P8D Pasto	44	39,26	34,50	34,58	18,13	1,32
		39,57	34,19	33,64	16,57	1,30
		31,71	28,72	27,22	18,24	1,27
		32,61	29,29	27,89	18,24	1,29

Anexo. 11: Análisis e interpretación de la textura de los perfiles del sistema de riego Aguarongo-Zaño sector La Dolorosa.

Perfil/ Uso	Pendiente %	Análisis Mecánico % TFSA			Textura	Interpretación
		Ao	Lo	Ac		
P1D Maíz	12	54,40	25,80	19,80	FoAo	Franco Arenoso
		44,60	29,60	25,80	Fo	Franco
P2D Maíz	20	44,60	39,40	16,00	Fo	Franco
		46,60	31,40	22,00	Fo	Franco
P3D Pasto	24	56,40	24,00	19,60	FoAo	Franco Arenoso
		34,40	38,00	27,60	FoAc	Franco Arcilloso
P4D Pasto	15	50,60	29,40	20,00	Fo	Franco
		18,60	33,40	48,00	Ac	Arcilloso
P5D Maíz	42	44,40	23,80	31,80	FoAc	Franco Arcilloso
		38,40	32,00	29,60	FoAc	Franco Arcilloso
P6D Maíz	44	46,40	31,80	21,80	Fo	Franco
		34,4	38,00	27,60	FoAc	Franco Arcilloso
P7D Pasto	44	40,60	33,60	25,80	Fo	Franco
		36,60	31,60	31,80	FoAc	Franco Arcilloso
P8D Pasto	44	52,4	26,20	21,40	FoAcAo	Franco Arcillo
		32,40	30,00	37,60	FoAc	Franco Arcilloso

Anexo. 12: Pruebas de infiltración en el uso pasto y maíz.



Anexo. 13: Tríptico divulgativo entregado a los asistentes en el día de campo.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de riego Aguarongo perteneciente a la parroquia Chuquiribamba presenta bajos niveles de producción debido a la problemática que sus suelos presentan baja capacidad de aireación producto de la labranza, el uso intensivo de pastura y de su textura franco arcillosa, la misma que afecta al crecimiento de los cultivos debido a que no existe en la zona radicular un normal intercambio de dióxido de carbono y oxígeno. También está el aprovechamiento del agua para el riego, su aplicación en la parcela, lo realizan mediante pequeños sistemas de aspersión que han sido instalados empíricamente por los propios usuarios, desconociendo la base científica de cuándo y hasta cuando regar, produciendo la erosión de los suelos.

Para enfrentar esta problemática, la Universidad Nacional de Loja, viene estudiando algunas alternativas para mejorar las condiciones físicas de los suelos:

Valarezo y Villamagua (2003) demostraron que la incorporación de 30, 40 y 50% de arena silícea a un suelo arcilloso, incrementó la capacidad de aireación, mejorando las condiciones físicas desde rango pobre a muy bueno, y elevando significativamente el rendimiento de los cultivos bajo invernadero (tomate 45%, cebolla de bulbo 117 %, pepino 59 %).

Ortega, M; Chapa, C. (2006), evaluaron diferentes sustratos utilizando abono orgánico en el cultivo de Zucchini en donde los tratamientos fueron; T0= suelo agrícola; T1= 6% de abono

orgánico (bocashi); T2= 8% de abono orgánico (bocashi); T3= 10% de abono orgánico (bocashi). Los resultados indican que el suelo original de características físicas pobres pasó a bueno y muy bueno. El mejor rendimiento se obtiene con 10% de abono con 18,43 kg/planta y el testigo 4,27 kg/planta.

García, (s.f.), evaluó la aplicación de diferentes dosis de cal en los suelos del sistema de riego Salapa, para el cultivo de Brócoli. Los tratamientos fueron: 0,0; 1455; y, 2425 kg/ha de Cal agrícola.

El mejor rendimiento se obtiene en el T2 con 1,23 kg/planta y el testigo 1,11 kg/planta. EL pH paso de 6,12 a 6,34, por lo tanto, los nutrientes son tan mas disponibles para las plantas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Conocer las propiedades físicas de los suelos a través de la curva del pF y la infiltración, para el diseño de los sistemas de riego a presión, optimizando el uso del agua consecuentemente el incremento de la productividad de los cultivos de pastos y maíz.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar físicamente los suelos en función de la pendiente y uso en el sistema de riego Aguarongo - Zañe. Sector "La Dolorosa"
- Determinar la velocidad de infiltración en los suelos del sector "La Dolorosa".

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del Sistema de riego Aguarongo-Zañe.

El sistema de riego Aguarongo se encuentra entre las cotas 2620 y 2871 m s.n.m.

3.2. Evaluar físicamente los suelos de los dos primeros horizontes en función y uso del suelo

En cada sitio seleccionado se prepararon una calicata de 1,20 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.

3.3. Determinar la velocidad de infiltración en función de la pendiente y uso del suelo

En cada sitio experimental, a una distancia de aproximadamente 1 a 2 m de cada perfil, se realizó la prueba de infiltración, mediante el método del doble anillo.

1. RESULTADOS.

Perfil/ Uso/Pend iente	Profun didad cm	Da g cm ³	Capacida d Aireación % 0v pF 2	Agua Aprovech able % 0v pF 2	Volumen de suelo fisicamen te inerte % 0v	equivalenc ia
P1D maíz 12%	00-10	1,29	7,83	17,22	74,95	Pobre
	10-30	1,43	5,59	11,28	83,14	Muy Pobre
P2D maíz 20%	00-20	0,91	6,29	39,04	54,68	Pobre
	20-50	1,07	6,77	23,55	69,69	Pobre
F3D pasto 24%	00-15	1,03	8,46	25,86	65,69	Pobre
	15-50	1,06	8,98	22,54	68,49	Pobre
F4D Pasto 15%	05-25	1,08	3,40	26,50	70,10	Muy Pobre
	25-55	1,19	1,57	22,54	75,89	Muy Pobre
F5D maíz 42%	00-20	1,28	11,54	12,92	75,55	Muy Pobre
	20-40	1,42	7,08	8,89	84,04	Muy Pobre
P6D maíz 44%	00-10	1,13	16,60	17,24	66,17	Medio
	10-65	1,43	5,35	9,91	84,75	Muy Pobre
P7D pasto 44%	00-15	1,35	5,18	17,50	77,33	Muy Pobre
	15-40	1,54	5,05	8,00	86,96	Muy Pobre
F8D Pasto 44%	03-15	1,31	8,66	11,41	79,94	Muy Pobre
	15-40	1,28	9,16	10,77	80,08	Muy Pobre

Las condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas, en el uso pasto y maíz en la primera capa se ubicó en la categoría de muy pobre a medio; en el segundo muy pobre a pobre.

La capacidad de aireación en el uso maíz en el primer horizonte se encuentra en el rango de bajo a muy alto, para el caso del pasto se encuentra de muy bajo a bajo; para el segundo horizonte en el uso maíz presenta un contenido de aireación bajo, para el uso pasto se encuentra dentro del mismo rango del primer horizonte.

El agua aprovechable en el primer horizonte en el uso maíz y pasto es medio y muy alto, en el segundo horizonte se encuentran en el rango bajo y medio

La velocidad de infiltración en el uso maíz es moderadamente lenta a medio, para el uso pasto se encuentra de lenta a moderadamente lenta.

2. RECOMENDACIONES.

2.1. Uso del suelo con Maíz

- Incrementar el contenido de materia orgánica en el suelo, utilizando bioles, bocashi y compost.
- Aplicar carbonato de calcio en los suelos.
- Implementar barreras vivas, con especies tales como: yerba luisa, achira, agave.
- Utilizar cascarilla de café, cascarilla de arroz.

2.2. Uso del suelo con pasto.

- Sembrar árboles (Sistemas silvopastoriles), para mejorar la calidad física de los suelos y aumentar el contenido de materia orgánica.
- Utilizar un descompactador de potreros.
- Aplicar bocashi y compost para mejorar la aireación.
- Utilizar cal agrícola para corregir la acidez de los suelos.



UNL

Universidad
Nacional
de Loja



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

**FACULTAD AGROPECUARIA Y DE
RECURSOS NATURALES RENOVABLES
Carrera de Ingeniería Agrícola**

TEMA DE PROYECTO DE TESIS:

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS
DE LOS SUELOS EN EL SISTEMA DE RIEGO
AGUARONGO-ZAÑE DE LA PARROQUIA
CHUQUIRIBAMBA**



Ruben Dario Soto Collaguazo

AUTOR

Ing. Miguel Ángel Villamagua.

DIRECTOR

Anexo. 14: Planificación del evento de difusión de resultados.

Tipo de evento: Día de campo.

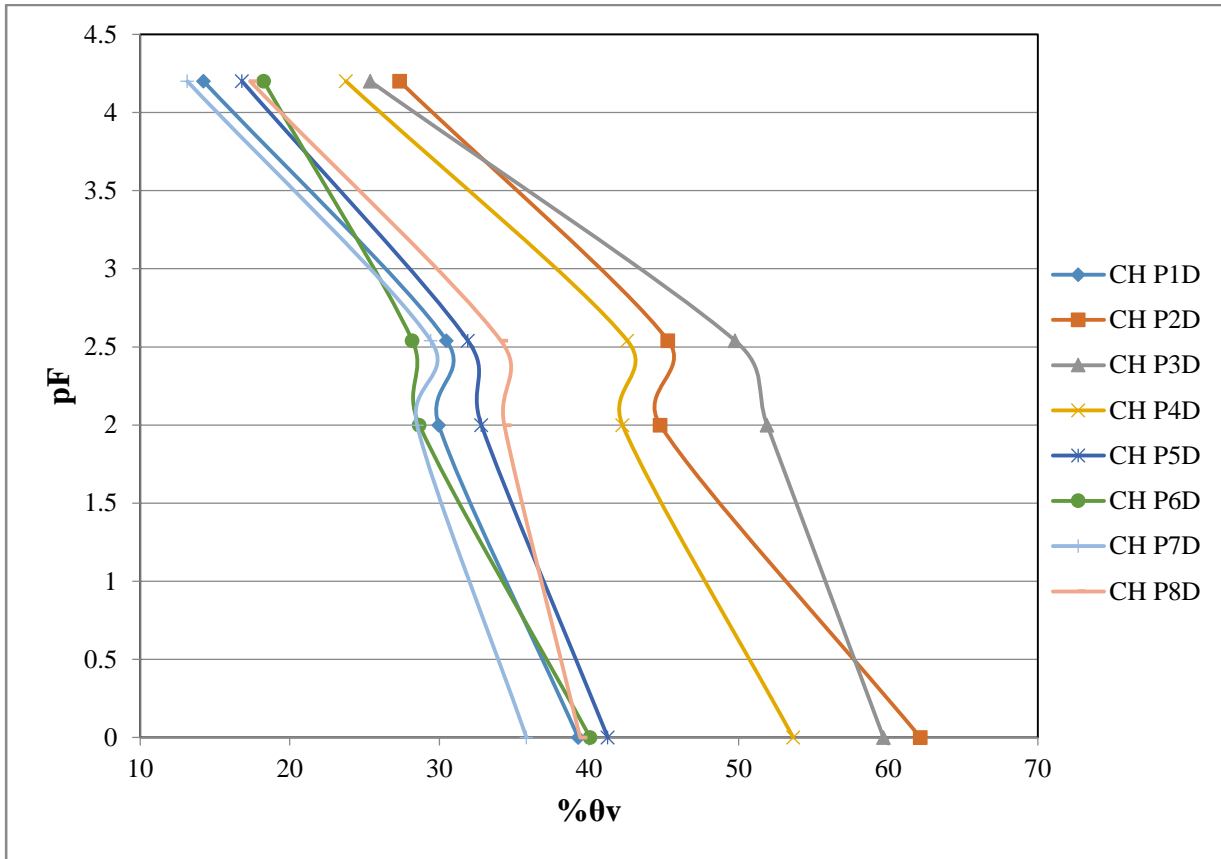
Tema: “Evaluación de las propiedades físicas de los suelos en el sistema de riego Aguarongo-Zaño de la parroquia Chuquiribamba”

Lugar: Chuquiribamba “Salón de la catequesis”.

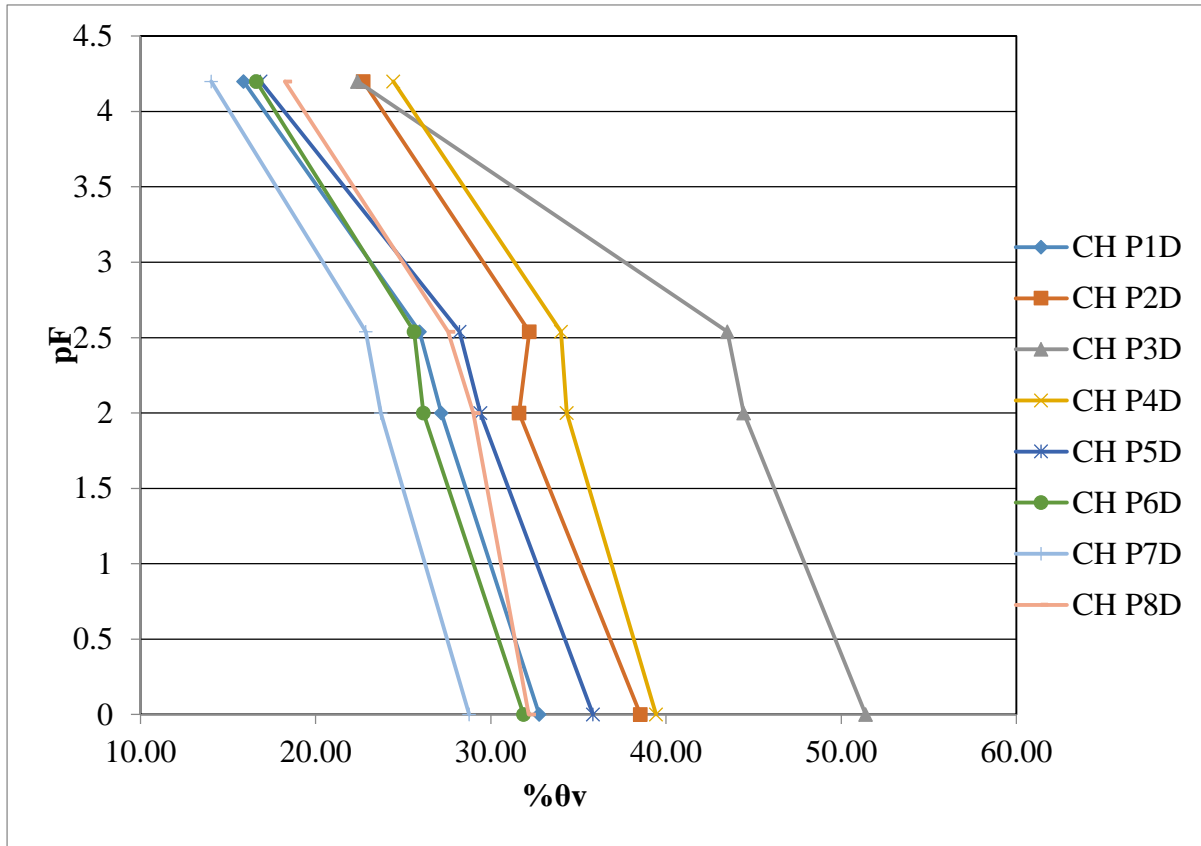
Participantes: director de tesis, tesista, docentes y usuarios del sistema de riego Aguarongo-Zaño sector “La Dolorosa”.



Anexo. 15: Curvas de retención de humedad del primer horizonte de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendientes del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo-Zañe.



Anexo. 16: Curvas de retención de humedad del segundo horizonte de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelo y rangos de pendiente del terreno en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.



Anexo. 17: Análisis de varianza de la capacidad de aireación del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	103,05	3	34,35	3,76	0,0410
Uso	46,65	1	46,65	5,11	0,0432
Pendiente	56,40	1	56,40	6,18	0,0287
Uso*pendiente	6,3E-04	1	6,3E-04	6,8E-05	0,9935
Error	109,58	12	9,13		
Total	212,63	15			

CV= 30,92%

Anexo. 18: Análisis de varianza de la capacidad de aireación del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12,36	3	4,12	2,61	0,0994
Uso	4,47	1	4,47	2,84	0,1179
Pendiente	4,84	1	4,84	3,07	0,1053
Uso*pendiente	3,05	1	3,05	1,93	0,1899
Error	18,92	12	1,58		
Total	31,28	15			

CV=22,36%

Anexo. 19: Análisis de varianza del agua aprovechable del primer horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	182,30	3	60,77	5,16	0,0161
Uso	94,09	1	94,09	7,99	0,0153
Pendiente	79,39	1	79,39	6,74	0,0234
Uso*pendiente	8,82	1	8,82	0,75	0,4038
Error	141,33	12	11,78		
Total	323,63	15			

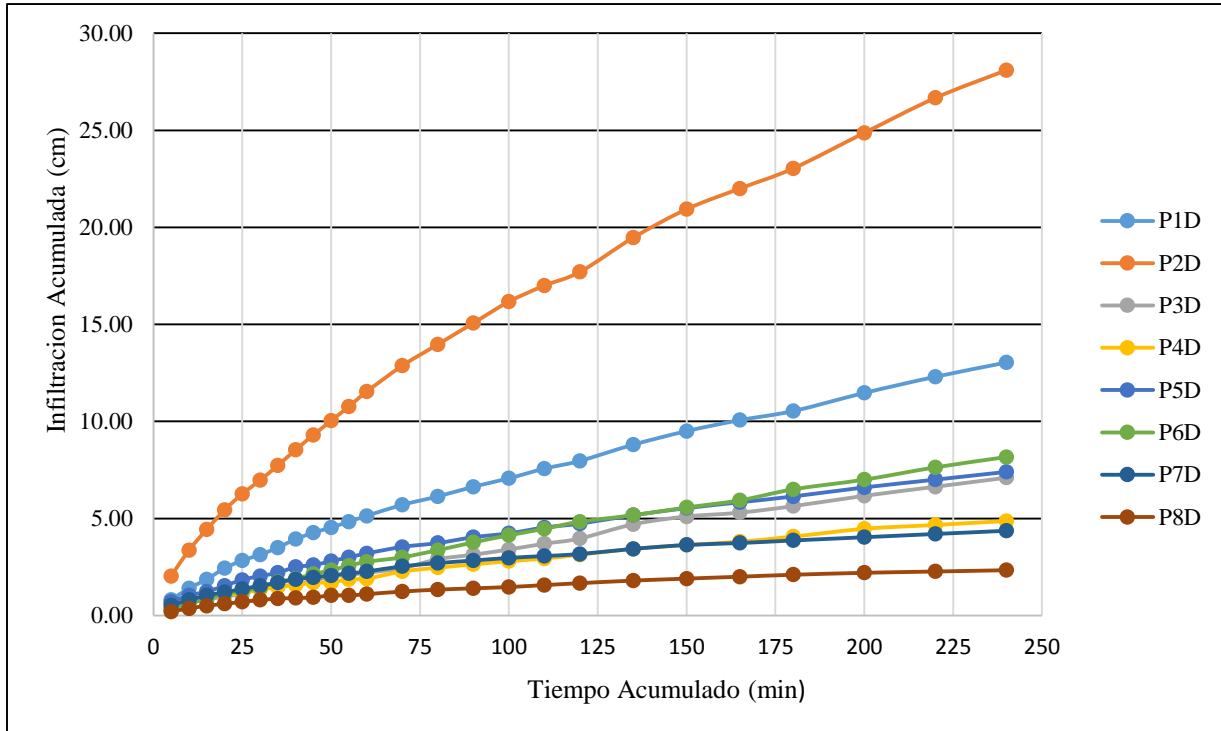
CV= 20,05%

Anexo. 20: Análisis de varianza del agua aprovechable del segundo horizonte de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zañe.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	93,92	3	31,31	2,26	0,1335
Uso	23,06	1	23,06	1,67	0,2210
Pendiente	25,73	1	25,73	1,86	0,1977
Uso*pendiente	45,12	1	45,12	3,26	0,0961
Error	166,07	12	13,84		
Total	259,98	15			

CV=31,45%

Anexo. 21: Curvas de infiltración acumulada de los ocho perfiles, para diferentes usos del suelos y rangos de pendiente del terreno en el Sector La Dolorosa del Sistema de Riego de Aguarongo – Zaña.



Anexo. 22: Análisis de varianza de la velocidad de infiltración de los ocho perfiles estudiados en el sector La Dolorosa del Sistema de Riego Aguarongo – Zaña.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13,30	3	4,43	4,55	0,0886
Uso	7,57	1	7,57	7,77	0,0494
Pendiente	4,32	1	4,32	4,44	0,1029
Uso*pendiente	1,41	1	1,41	1,45	0,2950
Error	3,89	4	0,97		
Total	17,19	7			

CV=55,05