



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, _____ 2 _____

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Jefferson Fabian Maji Lamar con C.C. No. 1081419268.

Yinny Dayana Duran Cárdenas con C.C. No. 1081419642

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o titulado **EVALUACIÓN DEL SUELO EN DIFERENTES POSICIONES DEL PAISAJE DE UNA LADERA AFECTADA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA DEL MUNICIPIO DE LA PLATA HUILA.** presentado y aprobado en el año **2022** como requisito para optar al título de **INGENIERO AGRICOLA;**

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que, con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.
- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.
- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

2 de 2

EL

AUTOR/ESTUDIANTE: Jefferson Fabian Maji Lamar

Firma:

Jefferson Fabian Maji L.

EL AUTOR/ESTUDIANTE: Yinny Dayana Duran Cárdenas

Firma:

Yinny Dayana Duran C.



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: EVALUACIÓN DEL SUELO EN DIFERENTES POSICIONES DEL PAISAJE DE UNA LADERA AFECTADA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA DEL MUNICIPIO DE LA PLATA HUILA.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Maji Lamar	Jefferson Fabian
Duran Cárdenas	Yinny Dayana

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Rodríguez Acosta	Daniel
Torrente Trujillo	Armando

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
----------------------------	--------------------------

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INEGNIERIA

PROGRAMA O POSGRADO: INGENIERIA AGRICOLA

CIUDAD: LA PLATA HUILA AÑO DE PRESENTACIÓN: 2022 NÚMERO DE PÁGINAS: 43

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



Diagramas ___ Fotografías Grabaciones en discos ___ Ilustraciones en general ___ Grabados ___
Láminas ___ Litografías ___ Mapas ___ Música impresa ___ Planos ___ Retratos ___ Sin ilustraciones ___ Tablas
o Cuadros

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento:

WORD MICROSOFT OFFICE

MATERIAL ANEXO:

PREMIO O DISTINCIÓN (*En caso de ser LAUREADAS o Meritoria*):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

Español

1. LADERA
2. MUESTRAS
3. PARAMETROS
4. REMOCION EN MASA
5. PROCESOS

Inglés

1. SLOPE
2. SAMPLES
3. PARAMETERS
4. MASS REMOVAL
5. PROCESSES

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

La tesis se desarrolló en la finca el Kirpal, que conduce de la Plata a Neiva en la vereda Lusitania. La investigación consistió en evaluar un suelo en diferentes posiciones del paisaje de una ladera afectada por procesos de remoción en masa, dividida en 4 zonas de ladera. En cada zona se extrajeron tres muestras, las cuales se analizaron en los laboratorios de suelos de la Universidad Surcolombiana bajo los protocolos de la norma técnica y del IGAC, de manera simultánea se realizaron las pruebas en campo. La información se registró de manera inicial en la base de datos Excel, en donde se procesaron las ecuaciones, paso seguido se procedió a exportar la información al software Design expert en el cual se obtuvieron los resultados de la información estadística, en donde se determinó que el parámetro que presenta diferencias significativas en las diferentes zonas de la ladera es la densidad aparente, mientras que el pH, conductividad eléctrica, densidad real, materia orgánica, estabilidad de agregados y cic, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque se puede observar una amplia variabilidad espacial en los parámetros del suelo, los parámetros que



más se ve afectado es la textura, densidad aparente y la materia orgánica, aunque la mayoría conservan sus características de origen, en la parte alta como en la parte media, teniendo en cuenta que en la parte baja aunque inicialmente el suelo se perdió, los sustratos que se dependen de las zonas altas se acumulan y dan un nuevo volumen de suelo.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The thesis was developed in the Kirpal farm, which leads from La Plata to Neiva in the Lusitania village. The investigation consisted of evaluating a soil in different positions of the landscape of a slope affected by mass removal processes, divided into 4 slope zones. In each area, three samples were extracted, which were analyzed in the soil laboratories of the Surcolombiana University under the protocols of the technical standard and the IGAC, simultaneously the field tests were carried out. The information was initially recorded in the Excel database, where the equations were processed, followed by exporting the information to the Design expert software in which the results of the statistical information were obtained, where it was determined that the parameter that presents significant differences in the different areas of the slope is the apparent density, while the pH, electrical conductivity, real density, organic matter, aggregate stability and cic, no statistically significant differences were found, although a difference can be observed. wide spatial variability in soil parameters, the parameters that are most affected are texture, apparent density and organic matter, although most retain their original characteristics, in the upper part as in the middle part, taking into account that In the lower part, although initially the soil was lost, the substrates that break off from the higher areas accumulate and give n a new volume of soil.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado:

Firma:

Nombre Jurado: Juan Eduardo Bonilla Perdomo

Firma:

Nombre Jurado: Juan Guillermo Bolívar Valderrama

Firma:

**EVALUACIÓN DEL SUELO EN DIFERENTES POSICIONES DEL
PAISAJE DE UNA LADERA AFECTADA POR PROCESOS DE
REMOCIÓN EN MASA DEL MUNICIPIO DE LA PLATA HUILA.**

Trabajo de grado presentado al departamento de Ingeniería Agrícola
como requisito para optar al título de: Ingeniero Agrícola

Autore(s)

Jefferson Fabian Maji Lamar: 20151138846

Yinny Dayana Duran Cárdenas: 20151138969

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Agrícola

Sede La Plata, Huila, Colombia. 2022

Juan Carlos Rodríguez A

Clavijero.

Director: Ing. Daniel Rodríguez Acosta

Codirector: Armando Torrente Trujillo

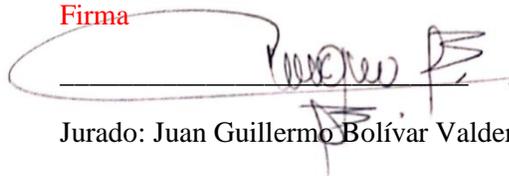
Nota de aceptación

Firma



Jurado: Javier Eduardo Bonilla Perdomo

Firma



Jurado: Juan Guillermo Bolívar Valderrama

EVALUACIÓN DEL SUELO EN DIFERENTES POSICIONES DEL PAISAJE DE UNA LADERA AFECTADA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA DEL MUNICIPIO DE LA PLATA HUILA.

RESUMEN

La tesis se desarrolló en la finca el Kirpal, que conduce de la Plata a Neiva en la vereda Lusitania. La investigación consistió en evaluar un suelo en diferentes posiciones del paisaje de una ladera afectada por procesos de remoción en masa, dividida en 4 zonas de ladera. En cada zona se extrajo tres muestras, las cuales se analizaron en los laboratorios de suelos de la Universidad Surcolombiana bajo los protocolos de la norma técnica y del IGAC, de manera simultánea se realizaron las pruebas en campo. La información se registró de manera inicial en la base de datos Excel, en donde se procesaron las ecuaciones, paso seguido se procedió a exportar la información al software Design expert en el cual se obtuvieron los resultados de la información estadística, en donde se determinó que el parámetro que presenta diferencias significativas en las diferentes zonas de la ladera es la densidad aparente, mientras que el pH, conductividad eléctrica, densidad real, materia orgánica, estabilidad de agregados y cic, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque se puede observar una amplia variabilidad espacial en los parámetros del suelo, los parámetros que más se ve afectado es la textura, densidad aparente y la materia orgánica, aunque la mayoría conservan sus características de origen, en la parte alta como en la parte media, teniendo en cuenta que en la parte baja aunque inicialmente el suelo se perdió, los sustratos que se desprenden de las zonas altas se acumulan y dan un nuevo volumen de suelo.

Palabras claves: Ladera, muestras, parámetros, remoción en masa, procesos.

ABSTRACT

The thesis was developed in the Kirpal farm, which leads from La Plata to Neiva in the Lusitania village. The investigation consisted of evaluating a soil in different positions of the landscape of a slope affected by mass removal processes, divided into 4 slope zones. In each area, three samples were extracted, which were analyzed in the soil laboratories of the Surcolombiana University under the protocols of the technical standard and the IGAC, simultaneously the field tests were carried out. The information was initially recorded in the Excel database, where the equations were processed, followed by exporting the information to the Design expert software in which the results of the statistical information were obtained, where it was determined that the parameter that presents significant differences in the different areas of the slope is the apparent density, while the pH, electrical conductivity, real density, organic matter, aggregate stability and cic, no statistically significant differences were found, although a difference can be observed. wide spatial variability in soil parameters, the parameters that are most affected are texture, apparent density and organic matter, although most retain their original characteristics, in the upper part as in the middle part, taking into account that In the lower part, although initially the soil was lost, the substrates that break off from the higher areas accumulate and give n a new volume of soil.

Keywords: slope, samples, parameters, mass removal, processes.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación de pregrado hace parte de un estudio del doctorado de Agroindustria y desarrollo agrícola sostenible de la universidad Surcolombiana denominado: Desarrollo de un método sistémico para la rehabilitación ambiental de coberturas vegetales y control de erosión en áreas degradadas, bajo principios de bioingeniería de suelos.

Teniendo en cuenta que los procesos de remoción en masa son consecuencia de la inestabilidad en las laderas, y esta a su vez se ocasiona por factores del suelo; tales como el tipo de material, las propiedades físicas, químicas y mecánicas o agentes externos como lo son el clima, uso, actividades antrópicas y fenómenos naturales (Pinzon, 2015). En el departamento del Huila específicamente en el municipio de La Plata, muchas de las zonas de importancia agropecuaria y forestal están siendo altamente afectadas por derrumbes y demás efectos derivados de la erosión, que atentan con la sostenibilidad de los recursos naturales y zonas potenciales para la seguridad alimentaria de los pobladores. (Parra Pérez, 2015)

Por lo anterior, la siguiente investigación se desarrolló en un área de ladera sometida a procesos de degradación, por el efecto de remoción en masa. Los análisis que se realizaron respondieron a la necesidad de entender el comportamiento de parámetros físicos, químicos y mecánicos que ocurren en cada una de las zonas de ladera, el estudio abordó parámetros físicos tales como textura, estructura, porosidad y color; químicos: materia orgánica, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y pH; mecánicos: límites de Atterberg, ensayo de granulometría, coeficiente de extensibilidad lineal, ensayo de compactación e infiltración, los datos obtenidos de laboratorio a través de las metodologías de la norma técnica y el IGAC se procesaron en el software Excel, y el desarrollo estadístico se generó en el software Design Expert, de tal manera que se generaron resultados básicos como complemento a investigaciones en rehabilitación de laderas y que generan herramientas básicas para gestionar y/o planificar soluciones (Serrano, 2014), que fortalecen la bioingeniería del suelo.

Debido a la continua pérdida de suelo, por el uso no sostenible de las actividades agropecuarias, las cuales pueden modificar los parámetros físicos del suelo debido al manejo del agua, nutrientes y pesticidas (Bravo, 2015). Así como los parámetros químicos pueden disminuir las relaciones suelo-planta, la capacidad amortiguadora del suelo, la calidad y disponibilidad del agua y los microorganismos de los nutrientes para las plantas. (Ramírez & Sánchez, 2012). La investigación se dirigió a evaluar la dinámica de estos parámetros de calidad del suelo (Espin, 2019) en diferentes posiciones del paisaje de una ladera afectada por procesos de remoción en masa del municipio de la Plata Huila.

MATERIALES Y MÉTODOS

UBICACIÓN

El presente estudio se desarrolló en el predio el kirpal por la vía que de La Plata conduce a Neiva en las coordenadas 02° 24' 47.9" N; 075° 51' 45.7" W, en un área dedicada a las explotaciones agropecuarias y que está sometida a procesos de degradación.



FIGURA 1. Área degradada inicialmente.

Fuente: autores.

La metodología se realizó en fases, de la siguiente manera:

Fase 1. Revisión de literatura: se consultó información científica relacionada a la temática de la presente propuesta con bases de datos que contenían artículos científicos de revistas indexadas y repositorio de tesis, de tal manera que la información suministrada permitió evidenciar los avances con respecto a los análisis de suelos.

Fase 2. Diagnostico general del sitio: Se realizó un análisis del sitio y su área de influencia, con el fin de evidenciar las posibles causas de la remoción en masa, así como la flora que prevaleció tras el impacto, de tal manera que se generó información que se podía relacionar a los resultados del estudio.

Fase 3. Toma de muestras de suelo y pruebas de campo en las diferentes zonas de la ladera: La ladera se dividió en cuatro (4) partes, la zona 1 se le llamo a la parte alta y nivelada de la ladera que obedecía a la área de cultivo la cual no sufrió el impacto por remoción en masa; la zona 2, como la parte alta de la ladera degradada contigua a la anterior, la zona 3 como la parte media de la ladera degradada y con más alto grado de inclinación y la zona 4 como la parte baja de la ladera degradada. Para cada una de las zonas se tomaron 3 muestras de suelo. Se implementaron los protocolos establecidos por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC 2016), para la toma y análisis de muestras en campo y laboratorio como se puede ver en el cuadro 1 y 2.

TABLA 1. Método utilizado para cada propiedad.

N°	PROPIEDAD	MÉTODO
1	Textura del suelo	Hidrómetro de Bouyoucos- Densimétrico. Método IGAC adaptado a los suelos colombianos
2	Estructura	Observación en campo
3	Granulometría	Tamizado mecánico
4	Estabilidad de agregados	Yoder (distribución de agregados por tamizado en seco y húmedo)
5	Densidad aparente	Cilindro de volumen conocido
6	Densidad real	Picnómetro
7	Curva de retención de humedad	Cámaras de Richard
8	Límite de consistencia de Afterberg (límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad)	Cazuela de Casagrande, rolado manual y calculado
9	Coefficiente de extensibilidad lineal (COEL)	Estándar
10	Ensayo de compactación	Proctor modificado
11	CIC (capacidad intercambio catiónico)	Extracción con acetato de amonio 1M Ph7
12	Carbono orgánico	Walkley black
13	Ph	Potenciómetro en relación suelo/agua 1:1

Fuente: Pagina del IGAC, 2016

TABLA 2. Norma técnica colombiana utilizada en los análisis físico-químicos y microbiológicos del suelo.

Propiedades físicas		
Propiedad	Método utilizado	Fuente
Textura	Bouyoucos	IGAC (2006)
Color	Tablas Munsell	
Estabilidad Estructural	Tamizado mecánico (Yoder)	IGAC (2006)
Densidad aparente	Cámaras de Richard	IGAC (2006)
Densidad real	Picnómetro	IGAC (2006)
Porosidad	Relación matemática	IGAC (2006)
Propiedades químicas		
Ph	Potenciométrico, Suelo: Agua:1:1	IGAC, (2006)
CIC	Acetato de amonio 1N pH 7,0	IGAC, (2018)
Conductividad eléctrica	Pasta saturada	NTC 5596
Propiedades biológicas		
Materia orgánica	M.O= C.O*1.724	IGAC, (2006)
Granulometría	Tamizado mecánico	NTC 1504
proctor		NTC 2122
Coefficiente de extensibilidad lineal		NTC 1503

Limite liquido		NTC 1494
Limite plástico e índice de plasticidad		NTC 1493

Fuente: autores.

La forma en que se realizó la toma de muestras del suelo fue de acuerdo a la metodología del IGAC tal como se ilustra en la figura 2 de la siguiente manera:



FIGURA 2. Procedimiento a seguir para obtener una muestra de suelo que represente el área que desea analizar con fines agropecuarios.

Fuente: Pagina del IGAC, 2016

El area de muestreo se subdividió según las diferentes características encontradas, para cada una de las cuales se efectuó en forma triangular y se extrajeron en cada una de las zonas de la ladera como se puede ver en la figura 3. Para la toma de muestras se abrió una calicata de aproximadamente 25 x 25 cm a una profundidad de muestreo de 20 cm que es el área de acción de las raíces. Se empaco aproximadamente 15 kg en bolsas ziploc y se procedió a identificar la muestra con la codificación respectiva, para el desarrollo de todos los cálculos relacionados con los parámetros analizados se utilizó el software Excel.

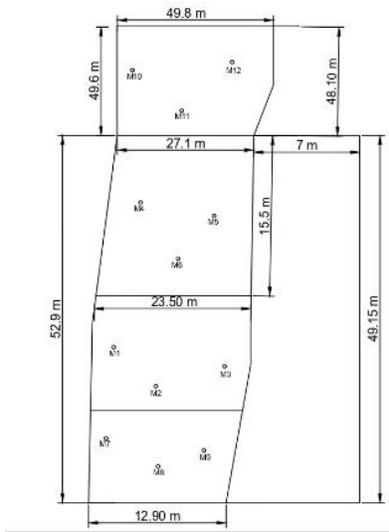


FIGURA N 3. puntos de muestreo

Fuente: autores.

Procedimiento N°1 determinación de humedad en el suelo: primero se tomó el peso de la tara, posteriormente se tomaron aproximadamente 10 g de suelo, esta se registró como peso húmedo (humedad que tenía el ambiente en ese momento), luego se llevaron al horno a una temperatura de 105 °C, por un tiempo mínimo aproximado de 12 horas pues estas habían sido secadas al ambiente, al día siguiente se retiraron las muestras del horno y se llevaron a un desecador, con el cual se atempero y se registró nuevamente su peso, y se identificó como peso del horno en gramos (g), sumándole el valor de la tara, como se ilustra en la figura 4, para finalmente realizar los respectivos cálculos.



FIGURA 4. Procedimiento para determinar la pérdida de humedad de las muestras secadas al horno.

Fuente: autores.

Ecuaciones

$$mss = \text{peso del horno} - \text{peso de la tara} \quad (1)$$

dónde: mss = peso del suelo seco

$$\text{contenido de humedad} = \left(\frac{(msh - mss)}{mss} \right) * 100 \quad (2)$$

dónde: msh = peso del suelo húmedo; mss = peso del suelo seco

$$\%arena = \frac{100 - \text{lectura } 40s * (100 + pw)}{\text{peso muestra}} \quad (3)$$

$$\%arcilla = \frac{\text{lectura } 2h * (100 + pw)}{\text{peso muestra}} \quad (4)$$

$$\%limo = 100 - (\%arena + \%arcilla) \quad (5)$$

Donde: pw = humedad del suelo (%)

Procedimiento N°2 color: este procedimiento se realizó de forma perceptiva, con las tablas de color munsell, en donde se tomó cada muestra de suelo y se dispuso en cada orificio, intentado buscar el color que más se asemejara al suelo, teniendo en cuenta el matiz, la claridad, la pureza en cada uno denotando que el contenido de humedad interfería en los resultados, tal como se muestra en la figura 5.



FIGURA 5. Determinación del color.

Fuente: autores.

Procedimiento N°3 pH: se halló bajo la NTC 5264, con una relación 1:1, es decir suelo-agua, se tomó 20 gr de la muestra de suelo secados al ambiente y se tamizaron por el tamiz N°10 (2mm), se le adiciono 20 ml de agua des-ionizada, posteriormente se agito con una varilla de agitación de vidrio por un minuto y se dejó reposar por 30 min, finalmente con el potenciómetro se midió el pH y la temperatura, ver figura 6.



FIGURA 6. Procedimiento para agitar las muestras y determinar el pH con el potenciómetro.

Fuente: autores.

Procedimiento N°4 textura del suelo: el desarrollo de este parámetro se realizó mediante el método de Bouyoucos tal como se muestra en la figura 7, que consistió en secar las muestras al ambiente, luego se tamizaron por el tamiz N°10 (2mm), y se dejó el blanco del proceso, para conocer el porcentaje de arenas, limos y arcillas, se tomaron 50 g de suelo, se le agregaron 10 ml de la solución de hexametáfosfato de sodio ($NaPO_3)_6$ como agente dispersante, para que las partículas más pequeñas se sedimentarán y formarán agregados, posteriormente se le agrego agua hasta los 2/3 del volumen del frasco donde se evaluó la textura y se llevó a agitación en uno reciproco horizontal por dos horas, después se utilizaron unas probetas de 1000 ml, donde se vertieron las muestras que habían sido agitadas en cantidad igual a la capacidad de la probeta, asegurándose de que toda la muestra de suelo quedara dentro de ella, y se verifico que no quedaran partículas en la tapa o por fuera, después se le agrego agua hasta 1000ml, esto se realizó con todas las muestras, se dejó el blanco del proceso que fue agua y hexametáfosfato de sodio ($NaPO_3)_6$ sin muestra de suelo. se tomó un agitador manual y se agito verticalmente por 30 segundos las muestras, transcurrido este tiempo se tomó el hidrómetro y se esperó 40 segundos para tomar la lectura de arenas por ser las partículas más grandes, luego a las dos horas se tomó otra medida para determinar las arcillas por ser las más pequeñas y demoradas en sedimentarse, la temperatura se determinó para ambas lecturas, teniendo en cuenta que la medida del blanco serán valores de cero o negativas.



FIGURA 7. Determinación de la textura mediante el método de Bouyoucos.

Fuente: autores.

Procedimiento N°5 conductividad eléctrica: el desarrollo de este parámetro se elaboró con la NTC 5596, se utilizó la relación 1:5, es decir suelo con 5 partes de agua, las muestras estaban

secas al ambiente, se tamizaron por el tamiz N°10 (200mm), se tomaron 20 g de suelo y se le adicióno 100ml de agua des-ionizada, se utilizó un blanco del proceso con la misma cantidad y relación mencionada, luego se llevó a agitación en un agitador reciproco horizontal por un tiempo de 30 minutos, a continuación se tomó unos Erlenmeyer, papel filtro y un embudo para filtrar las muestras tratando de que la mezcla de salida fuera lo más transparente posible, como se ilustra en la figura 8, después se tomó el conductímetro y se denoto la lectura con el electrodo, para terminar el proceso se toma la tabla expuesta en la norma para determinar la existencia o no de la salinidad del suelo.



FIGURA 8. Proceso de filtración para la obtención de la conductividad eléctrica.

Fuente: autores.

Procedimiento N°6 densidad real: este parámetro se realizó teniendo en cuenta la metodología del IGAC, teniendo en cuenta la parte mineral, para este proceso las muestras fueron secadas en el horno por un tiempo de 12 horas y se halló el peso con tapa, después se tomaron aproximadamente 2g de la muestra seca, se le agregó el picnómetro registrando su peso, posteriormente se adicióno agua destilada hasta 1/3 del volumen, se llevó al desecador con el fin de eliminar las burbujas de aire por 2 horas, a continuación se adicióno nuevamente agua destilada hasta que ocupara un volumen de 2/3, el cual se le aplico vacío durante 1 hora más, después se le agregó agua hasta llenar completamente el picnómetro sin confundir las tapas ya que estos podían variar los resultados, posteriormente se llenó completamente con agua destilada, se tapó y seco, registrando el peso de cada una, seguidamente se desechó lo que se encontraba dentro del picnómetro dejándolo únicamente con la tapa y el agua, sin partículas de suelo registrando este valor, este procedimiento se realizó con cada muestra de suelo, ver figura 9.



FIGURA 9. adición de agua destilada para cada muestra y pesadas.

Fuente: autores.

Ecuaciones

$$DR = \frac{(pic + tap + sue) - (pic + tap)}{(pic + tap + agua - pic + tap) - (pic + tap + sue + ag - pic + tap + sue)} \quad (6)$$

Dónde: DR=densidad real; pic= peso del picnómetro; tap=peso de la tapa; sue=peso del suelo;ag=agua

Procedimiento N°7 densidad aparente mediante el método de terrón parafinado: se tomó un terrón de cada muestra, ver figura N°10, este se secó al ambiente y se registró su peso, después se cogió un hilo para ajustarlo con el fin de que no se soltara o se fuera a caer al ser llevado a la parafina, previamente se calentó a una temperatura de 70°C, para conocer la densidad, luego se sumergió el terrón amarrado tres veces, tratando que quedara completamente cubierto por la parafina, una vez se enfrió la muestra se denoto su peso, posteriormente se utilizó una probeta de volumen conocido, donde se vertió el terrón para ver la cantidad de agua que se desplazaba.



FIGURA N°10. Obtención de la densidad aparente mediante el método del terrón parafinado.
Fuente: autores.

Ecuaciones

$$Pp = Ptp + Ps \quad (7)$$

$$Dp = \frac{Pp}{Vp} \quad (8)$$

$$Vp = \frac{Pp}{Dp} \quad (9)$$

Dónde: Ptp= peso del terrón cubierto de parafina; Dp= densidad de la parafina =0,89 g/cm³; Pp= peso de la parafina (gramos); Vp= volumen de la parafina (cm³); Pp=peso en gramos del terrón seco y parafinado; Ps=peso seco del terrón (gramos).

Procedimiento N°8 densidad aparente mediante el método del cilindro de volumen conocido: para este procedimiento se trató que la muestras estuvieran sin alteración, se tomó un cilindro biselado, se le agregó la muestra de tal manera que esta quedara completamente llena, tratando de que no se presentara compactación, se colocó papel filtro dentro de este, se pesó y se llevó al

horno a una temperatura de 105°C por 24 horas para extraer la humedad y hallar la masa del suelo seco, después se sacó la muestra de cada cilindro para colocarla en un desecador por 30 minutos, luego se registró su peso, posteriormente se pesó el cilindro y se midió su diámetro y altura para conocer su volumen, este procedimiento se realizó con cada muestra, ver figura 11 y 36, anexo 14.



FIGURA 11. Obtención de la densidad aparente mediante el método del cilindro de volumen conocido.

Fuente: autores.

Ecuaciones

$$Da = \frac{Ps}{Vt} \quad (10)$$

$$Da = \frac{Ps}{Vd - Vp} \quad (11)$$

Dónde: Da= densidad aparente (g/cm³); Ps= peso del suelo seco (g); Vt= volumen total del suelo seco (g); Vd= volumen de agua desplazada por el terrón parafinado cuando se introdujo en la probeta (cm³); Vp= volumen del peso (cm³)

Procedimiento N°9 capacidad de intercambio catiónico: este parámetro se halló en base a la Norma Técnica Colombiana 5268, mediante el método de acetato de amonio, donde se pesó 5 gramos de suelo seco al ambiente tamizado por el tamiz N°10 (2mm), al cual se le adiciono 40 ml de solución de acetato de amonio a una concentración de 1M y Ph 7.0, como se ilustra en la figura 12, luego se llevó a un agitador reciproco horizontal durante 30 minutos y posteriormente se filtró. Una vez filtrada se le agregaron 50 ml de alcohol etílico al 95% con el fin de eliminar el exceso de amonio, seguidamente se cambió el vaso de precipitado y se añadió 50 ml de solución extractora (NaCl al 10%) para continuar con el proceso de filtrado, a este se le agregaron 20 ml de formol y dos gotas de fenolftaleína que nos sirvió para dar la coloración, para que después se realizara la titulación con hidróxido de sodio a 0.2 N hasta obtener un color rosado pálido.



FIGURA 12. Aplicación de la solución extractora NaCl al 10% para dar coloración.
Fuente: autores.

Ecuaciones

$$CIC \left(\frac{meq}{100gr} \right) = \frac{(V - Bp) * N * (100 + Pw)}{Pm} \quad (13)$$

Dónde: CIC=capacidad de intercambio catiónico; V=ml NaOH gastados en la titulación de la muestra; Bp= ml de NaOH gastados en la titulación de la muestra; N= normalidad del NaOH; Pw=% de humedad; Pm= peso de la muestra (gr); Pw=peso húmedo (gr)

Procedimiento N°10 carbono orgánico: la metodología que se utilizó fue la de colorimetría u oxidación humedad de acuerdo a la norma técnica colombiana (NTC) 5403, lo primero que se hizo fue una clasificación de acuerdo al color, la mayoría de muestras tenían tonos claros por esto se utilizó el rango de 0.4 – 1, de acuerdo a su peso, se utilizó un Erlenmeyer, se le adicióno 20 ml de solución de dicromato de potasio a una concentración normal, por ser acido se cogió una cabina de extracción de inorgánicos, luego se le agrego 10 ml de ácido sulfúrico y se agito vigorosamente durante 1 minuto, posteriormente se dejó reposar 3 horas para la reacción, a continuación se le agrego 70ml de agua des-ionizada y se dejó nuevamente en reposo por 3 horas, para la lectura del carbono orgánico se usó el espectrofotometro, como se ilustra en la figura 13, seguidamente se ocupó una pipeta con un volumen de 10 ml se realizó la extracción de forma superficial garantizando no mover el Erlenmeyer.

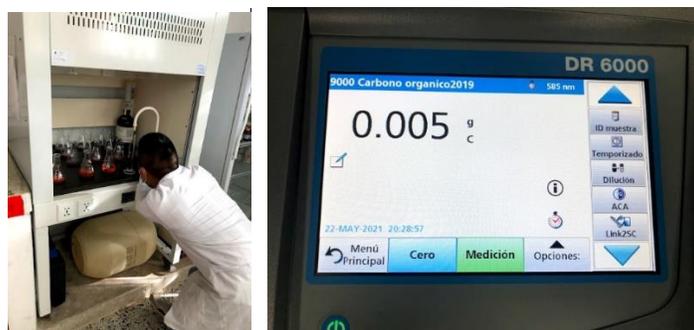


FIGURA 13. Procedimiento para la determinación del carbono orgánico.
Fuente: autores.

Ecuaciones

$$Co = Lc * \frac{100 + Pw}{Pm} \quad (14)$$

Dónde: Lc=lectura de la muestra; Pw= %de humedad; Pm= peso de la muestra

$$Mo = CO * 1,724 \quad (15)$$

Dónde: Mo=materia orgánica; Co= carbón orgánico.

Procedimiento N°11 estabilidad estructural: se realizó mediante la metodología del IGAG por el método del stop, se tomaron 100 gramos de cada muestra de suelo seco a temperatura ambiente, se tamizaron por el tamiz N°8, después se tomó un juego de tamices que fueron: 5/16 (8mm), N°10 (2mm), N°18 (1mm), N° 35 (0,5mm) y N°60 (0,25mm) organizándolos de mayor a menor abertura en el equipo de Yoder, como se ilustra en la figura 14, a continuación se distribuyeron la muestra de suelo en el tándem de tamices y la humedecimos de manera tal que no se perdieran las partículas, transcurridos 30 minutos en el equipo se extrajeron el juego de tamices, para dejar drenar el agua aproximadamente por 5 minutos, luego se vertió las muestras retenidas en cada tamiz a frascos de vidrio y fueron llevados al horno de secado durante 24 horas a una temperatura de 105°C, posteriormente se registró el peso de las partículas primarias, seguidamente se colocó las muestras en frasco tetero, se le adicióno agua destilada (50%) y un agente dispersante hexametafosfato (10ml), se colocaron en un agitador horizontal por 30 minutos, luego se tamizo cada fracción por los tamices, se llevaron a frascos de vidrio y se dispusieron en el horno a una temperatura de 105°C por 24 horas, nuevamente se registró el peso de las partículas primarias, finalmente se realizaron los cálculos.



FIGURA 14. Procedimiento de tamizaje de cada muestra de suelo y secado de estas al horno.

Fuente: autores

Ecuaciones

$$Pss = \frac{Psh}{1 + W} \quad (16)$$

Dónde: Pss= peso del suelo seco; Psh= peso del suelo húmedo; W= humedad del suelo

$$Psst = \text{peso 24 horas} - \text{peso 48 horas} \quad (17) \text{ (ver anexo 7)}$$

$$Psst(\%) = \frac{Psst}{Pss} * 100 \quad (18)$$

Dónde: P_{sst} = (%) de agregados retenidos en cada tamiz; P_{ssi} = (gr) masa de los agregados del suelo seco en una clase de tamaño; P_{ss} = masa total del suelo seco (gr)

Procedimiento N° 12 Granulometría: para el desarrollo de este procedimiento se tomó la metodología del IGAC mediante el tamizado mecánico, se dispusieron 1600gr de cada muestra de suelo en el juego de tamices, como se ilustra en la figura 15, este se llevó al agitador mecánico por 15 minutos, posteriormente se pesó la cantidad retenida en cada tamiz.



FIGURA 15. Procedimiento para la separación de partículas del suelo mediante el método de tamizado.

Fuente: autores.

Procedimiento N°13 índice de plasticidad: este proceso se realizó mediante tres métodos tomados de la metodología del IGAC: índice de plasticidad líquido, límite plástico y plasticidad, el primero se realizó con la cazuela de casa grande como se ilustra en la figura 16, donde se dispuso aproximadamente entre 80 gr y 100 gr de cada muestra dispuestas en el tamiz 50,100,140 y 200, cada una se analizó 3 veces, continuamente se tomó una pipeta para agregarle cierta cantidad de agua destilada y una espátula para realizar una especie de mezcla, tanteando que la muestra quedara consistente durante los 3 procesos, se determinó el número de golpes en el que cerraba el instrumento, después se tomó la mitad de la muestra que estaba en la cazuela y se dispuso en una tara, obteniendo el peso húmedo, posteriormente se lleva al horno por 24 horas hallando el peso seco y se procedió a hallar el %humedad. Continuamente se tomó la otra mitad de cada muestra de la cazuela y se realizaron rodillos midiendo 10 cm cada uno, luego se tomaron y se dispusieron en una tara para hallar el peso húmedo, después se llevaban al horno por 24 horas y se halló el peso seco para hallar el %humedad. Finalmente, para hallar la plasticidad se tomaron los %humedad hallados y se realizaron los cálculos correspondientes.



FIGURA 16. Se procedió agregar o retirar agua de las muestras de suelo y posteriormente se mezcló hasta que se obtuvo una pasta semi-líquida homogénea en términos de humedad, determinando el límite de Atterberg.

Fuente: autores.

Procedimiento N°14 ensayo de compactación: para hallar este parámetro se utilizó la metodología de proctor modificado donde se realizaron 4 ensayos para cada muestra, para el primero se tomaron 2100gr de cada suelo en estado seco, se dispusieron en un recipiente y se mezclaron con una espátula, luego se llevaron al molde organizando cada muestra en 5 capas de acuerdo al número de golpes que se les realizo con un martillo de compactación, 25 en total, posteriormente se pesa el molde en la parte inferior como se muestra en la figura 17, se tomaron 80 gramos de la muestra dispuestas en las dos últimas capas del mismo y se disponen en un tara para ser llevadas al horno por 24 horas para hallar el peso del suelo seco y evaluar el % humedad, luego se dispusieron otros 2100 gr de cada muestra en un recipiente y a cada una se le agrego como primera medida 150 ml, después 300ml y finalmente 450ml de agua potable repitiendo el procedimiento anterior.



FIGURA 17. Determinación del peso de cada muestra compactada.

Fuente: autores.

Procedimiento N°15 Coeficiente de extensibilidad lineal (COEL): se analizó mediante el método estándar, donde se utilizó la muestra de suelo retenido en los tamices 50, 100,140 y 200, se le

agrego 100ml de agua tratando de que la mezcla obtenida se dejara moldear, después se realizó una esfera que permitiera dar forma de un cubo, luego se tomó un pie de rey y se midieron sus lados en estado húmedo. Posteriormente se dejaron secar durante 2 días a temperatura ambiente, luego se llevaron al horno por 24 horas y se midió nuevamente con el pie de rey sus lados obteniendo sus nuevas medidas y finalmente se realizan los cálculos, ver figura 18.



FIGURA 18. Formación de cubos para determinar la retracción de la muestra.

Fuente: autores.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diagnostico general del Área de estudio

Se observo dentro y fuera de la zona objeto de estudio alteraciones del suelo por el uso de las actividades ganaderas y la permanencia constante de goteos, ver figura 19, evidenciándose procesos de compactación y erosión, así como averías de mangueras que transportaban el agua a predios vecinos, lo cual de acuerdo a las investigaciones de Rodriguez 2021, estas contribuyen al deterioro del suelo en la zona y que se magnifican por la poca cobertura vegetal, la inclinación y las precipitaciones intensas, los cuales afectan la ladera con fenómenos como remoción en masa.

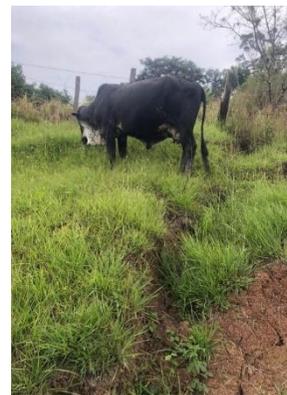


FIGURA 19. Manejo inadecuado de las mangueras y uso excesivo de la actividad ganadera.

Fuente: autores.



FIGURA 20. Suelo erosionado, y procesos de compactación en la ladera.

Fuente: autores.

En el área de estudio se encontraron residuos inorgánicos principalmente de la manguera descrita anteriormente, figura 21. La flora herbácea que prevalecía era pasto puntero “*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf”, chilca “*Baccharis latifolia* (Ruiz & Pav.) Pers” y Pacunga, “*Bidens pilosa* L”, ver figura 22, la flora arbórea que logro un desarrollo aislado y distante fue, el cachingo, teca, igua, caña fistula, ocobo y guanábano con un ejemplar de cada uno sobre la zona de menor inclinación de la ladera. Mientras que la parte alta que no fue afectada por la remoción en masa prevalecía un cultivo de cítricos.



FIGURA 21. Deterio de las mangueras encontradas.

Fuente: autores.



Pasto puntero



chilca



pacunga

FIGURA 22. flora herbácea hallada.

Fuente: autores.

Comportamiento de los parámetros del suelo en diferentes zonas de la ladera objeto de estudio

A continuación, en la tabla 3, se muestra el factor: ladera con sus 4 unidades de factor (Cultivo, Alta, media y baja) con las respuestas de pH, conductividad, densidad real (DR), densidad aparente (DA), Capacidad de intercambio catiónico (CIC), Materia orgánica (MO) y diámetro medio ponderado (DMP).

TABLA 3. Resultados de laboratorio de algunos parámetros del suelo en diferentes zonas de la ladera objeto de estudio.

Factor 1: Ladera	Response 1: PH	Response 2: conductividad dS/m	Response 3: DR	Response 4: DA	Response 5: CIC	Response 6: MO	Response 7: DMP	Response 8: Arena	Response 9: Arcilla	Response 10: Limo
Alta	5,26	0,0189	2,3319	1,04	14,5025	1,2964	0,3485	23,9064	49,3454	26,7482
Media	4,86	0,0183	2,1992	1,46	12,5261	0,7317	0,2831	31,5506	46,9063	21,5431
Baja	4,47	0,1094	2,3384	1,24	2,3790	0,6340	0,4947	27,8381	34,2435	37,9184
Área cultivo	4,75	0,0778	2,1978	1,14	12,1522	1,5678	0,1601	18,2618	42,4567	39,2815
Baja	5,06	0,0238	2,5031	1,26	12,0845	0,8956	0,1185	12,3452	58,3588	29,296
Área cultivo	4,78	0,0188	2,2890	1,21	20,0725	2,7064	0,0965	11,2325	41,9702	46,7973
Baja	4,69	0,0237	2,1245	1,36	9,9518	1,5737	0,0956	28,8422	48,0927	23,0651
Área cultivo	5,3	0,1090	2,1260	1	7,1724	4,0387	0,1083	15,677	42,279	42,044
Alta	4,88	0,0337	2,4224	1,2	15,7117	1,9132	0,1757	34,532	42,2163	23,2517
Alta	4,53	0,0231	2,0000	1,23	10,5002	3,3650	0,4012	29,9975	48,2981	21,7044
Media	5,1	0,0724	2,1392	1,52	11,2140	1,8661	0,1650	29,3623	46,9164	23,7213
Media	4,68	0,0719	2,1724	1,33	8,6699	0,8708	0,2678	23,4468	41,5407	35,0126

Fuente: software Design expert.

pH: En el anexo 1; figura 23, se observa el comportamiento del pH en cada una de las zonas de la ladera, de acuerdo al análisis de varianza ANOVA, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, aunque en los resultados de la gráfica se puede apreciar la variabilidad espacial que existe, incluso con muestras de suelo de la misma zona. A manera general los valores promedio de pH para cultivo son 4,94; para la parte alta y media de la ladera son de 4.8 mientras que la parte baja es de 4,7. En general la clasificación para el suelo es muy acida, por lo cual la acidez se conserva tanto en la zona impactada como en la zona que no lo estaba, lo que indica que la remoción en masa no altero de manera significativa este parámetro.

Conductividad eléctrica (ds/m): de acuerdo con los resultados del ANOVA (ver anexo 2, figura 24), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre cada una de las zonas de ladera con respecto al parámetro de conductividad eléctrica. Se puede analizar condiciones normales, ya que ninguna presenta altas concentraciones de sales en el suelo, aunque los valores son bajos y variables para cada uno. La parte de cultivo que se encuentra sobre la

zona alta no intervenida por el impacto conserva la mayor cantidad de minerales conductores lo que indica la pérdida mínima de estos en las zonas que se sitúan pendiente abajo y que fueron impactadas por la remoción en masa.

Densidad real (gr/ml): no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (ver anexo 3, figura 25) entre cada una de las zonas de ladera de acuerdo con la densidad real (DR), se destaca que en la parte media donde se ubica la mayor pendiente de la ladera, los resultados para las tres repeticiones fueron similares a 2,17, mientras que en las demás zonas se evidencio variabilidad entre las repeticiones de la misma zona. La densidad real promedio con más alto valor (2,32) se obtuvo en la parte baja de la ladera, aunque no se distanciaba de las demás zonas con valores cercanos a los 2,2.

Densidad aparente (gr/L): al analizar los datos de la ANOVA (ver anexo 4, figura 26), se encontraron en el modelo diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes zonas en el parámetro de densidad aparente, la parte media que se caracteriza por tener la pendiente más inclinada resulto ser la de mayor DA con un valor promedio de 1,43 lo que sugiere un suelo franco arenoso, seguido de la zona baja con un valor de 1,29 el cual se ubica en un suelo franco arcillo arenoso, mientras que las densidades más baja se tuvieron en el área de cultivo con un valor promedio de 1,11 y la zona contigua ladera alta con 1,15 que según estos resultados son propios de suelo arcillosos, teniendo en cuenta los aportes en esta temática de Sandoval et al, (2012). El principal inconveniente que presento el método del cilindro fue la presencia de piedras, por lo que solo se pudo utilizar adecuadamente en suelos poco pedregosos. (Gutiérrez, 2010)

Capacidad de intercambio catiónico, CIC ($\frac{meq}{100gr}$): no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el modelo, de acuerdo al ANOVA (ver anexo 5, figura 27), sin

embargo, se puede apreciar que en la zona con área de cultivo y la parte alta de la ladera que están ubicadas de forma contigua en campo se obtuvo el mayor valor de CIC, con valores promedio a 13, mientras que en la parte media 10, 8 y en la baja 8,13. Las repeticiones de cada una de las zonas fueron muy variables lo que evidencia la variabilidad espacial del suelo de ladera.

Materia orgánica, MO: de acuerdo con los valores obtenidos de materia orgánica, el ANOVA (ver anexo 6, figura 28) indica que no se encuentran diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que, aunque las diferencias entre los valores sean mínimas, en la interpretación practica estos valores son muy relevantes, ya que se tiene en cuenta que la zona objeto de estudio se ubica en clima cálido, por lo cual el área de cultivo presentó un valor de MO promedio de 2,77 y para la zona contigua clasificada como ladera parte alta de 2,19, lo que indica un % de materia orgánica medio. Mientras que en la parte media y la parte baja, los valores promedio son de 1, indicando bajo contenido de materia orgánica. Por lo anterior se deduce que uno de los parámetros principales que se pierden por efecto de la remoción en masa es la materia orgánica.

Estabilidad de agregados. De acuerdo con el ANOVA (ver anexo 7, figura 29) no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en el modelo, se puede apreciar que existe

una amplia variabilidad en los resultados de las repeticiones de las muestras de suelo para una misma zona con excepción de la zona de área de cultivo cuyos valores fueron similares. Al comparar las zonas se determinó que el mayor diámetro medio ponderado DMP, lo tiene la parte alta con un valor promedio de 0,3, mientras que en la parte media y baja el valor promedio fue de 0,2 y la zona con el menor DMP fue la de área con cultivo con un valor de 0,1. Lo que ubica a toda la ladera en una clase muy inestable con un riesgo de encostrado sistemático, alto y permanente en todas las condiciones topográficas.

Textura: de acuerdo a las diferentes zonas en las que se dividió la ladera (ver anexo 8, tabla 4, figura 30-31-32), la parte media y alta, en todas las muestras analizadas en laboratorio, arrojó como resultado suelos arcillosos, mientras que en el área de cultivo se evidenciaron cambios en dos muestras, obteniendo suelo arcillo – limoso, por lo cual se deduce que el efecto de la degradación de la ladera hace que un parámetro como la textura se vea afectado en el caso particular con la disminución de la parte limosa; en la parte baja se encontró una muestra franco arcillosa y las demás arcillosas, lo cual es muy lógico debido a que en esta zona se compensa las pérdidas iniciales del suelo con los depósitos de sedimentos de las tierras altas producto de la erosión.

Color: se identificó que en cada una de las zonas en las que se categorizó la ladera, los colores son diferentes, incluso en muestras de la misma zona (ver anexo 9, tabla 5) lo que indica, que en la zona de ladera media predominaron los suelos con arcillas ricas en nutrientes y mezclas de arena y materia orgánica sin descomponer. (Mendez, 2017) En la zona alta presentan reacción ácida y muy baja fertilidad. En la baja este tipo de color puede deberse a la presencia de goethita, más abundante en zonas templadas, donde también influye el tamaño del mineral (Reyes, 2021) y en el cultivo indico que es un suelo especialmente fértil con un alto contenido de humus. (García, 2021)

Granulometría: al realizar el análisis de granulometría en el laboratorio de mecánica de suelos, se estableció que para la ladera en general existe un predominio de grava fina, como se puede ver en los resultados de la gráfica de cada una de las muestras de suelo (ver anexo 10, figura 33). Tanto en la parte media de mayor pendiente como en la parte baja se encontraron 2 muestras con gravas gruesa, mientras que en la parte alta contigua a la de cultivos, en todas las muestras se encontraron gravas finas. Por lo cual existe una relación directa con los resultados de bajos niveles de retención de agua a pesar de que los suelos presentan textura dominante de arcilla, pero que se tiene en cuenta que para hallar esta última solo se tiene en cuenta material menor a 2mm, por lo cual si solo se estableciera este parámetro para establecer la retención de agua y la plasticidad general del suelo se podría incurrir en un error.

Límite de Atterberg: el menor índice de plasticidad con valor de 3,95 se encontró en la muestra 2 de la zona media de la ladera con un valor de 3,95 indicando una ligera plasticidad, mientras que las dos muestras de la misma zona arrojaron valores de baja plasticidad con valores que oscilaban entre 6,58 y 8,33, para la zona alta de la ladera se obtuvo una baja plasticidad en todas las muestras, mientras que en las zonas de cultivo y baja, se encontró una mediana plasticidad en muestras individuales con valores mayores a 10, los análisis para las muestras complementarias de cada una de las zonas indican una tendencia a una plasticidad baja. (ver anexo 11, tabla 6)

Proctor modificado: las curvas tendieron a mostrarse puntiagudas debido a que las variaciones de humedad afectaron la densidad seca, lo que equivale a que se trató de un suelo con características arcillosas y sensible al agua, (ver anexo 12, figura 34). (Lopez S. A., 2017).

Coefficiente de extensibilidad lineal COEL: existen tres rangos de contracción de acuerdo al valor COEL: una contracción baja, con un valor de $<0,03$; moderada $0,03 < \text{COEL} < 0,06$ y alta $\text{COEL} > 0,06$ (Hervias, 2009). De acuerdo a esto, los resultados hallados (ver anexo 13, figura 35) indicaron que las muestras de suelo presentaron un valor alto indicando que son inestables y con estructura débil o sin estructura.

CONCLUSIONES

Existe una amplia variabilidad espacial en los suelos de la ladera, sin embargo en la mayoría de parámetros no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las diferentes zonas de estudio, por lo cual la hipótesis que se tenía en principio que existían cambios significativos en todos los parámetros del suelo es rechazado, ya que con la evidencia hallada se establece que la ladera frente al fenómeno de remoción en masa lo que más perdió fue el suelo del primero y parte del segundo horizonte, limitando la profundidad en la parte alta y media, puesto que en la parte baja los depósitos del sedimento que dejó la erosión deposito nuevo material que reemplazó el perdido de manera inicial, así mismo se determinó que la materia orgánica, el limo y la densidad aparente se vieron afectados a lo largo de la pendiente de la ladera.

A pesar de que los análisis por textura ubican a los suelos de las diferentes zonas de la ladera con clasificación arcillosa, estos difieren de los valores de DPM y retención de humedad, ya que, en estos últimos, los datos sugieren áreas muy inestables, con baja retención. Por lo cual si fuese un área común agrícola se podría deducir que debería existir una relación directa, pero como las zonas objeto de estudio se ubican en un área de ladera sometida a procesos de erosión específicamente remoción en masa, se establece que la no relación entre parámetros se debe en gran medida a la manera en que se efectúan los procesos, ya que en textura se trabaja con muestras inferiores a 2mm, lo que deja por fuera las demás fracciones que componen el suelo, mientras que por el método de estabilidad y retención se trabaja con muestras indisturbadas con cilindros en los cuales se tiene en cuenta una muestra más completa, las cuales tenían un alto contenido en gravas.

Los datos de la presente investigación contribuyeron de manera significativas a las investigaciones a nivel de pregrado y doctorado relacionadas a la bioingeniería y rehabilitación de suelos, las cuales permitieron comprender la dinámica del suelo frente a un proceso de degradación por remoción en masa a lo largo de una pendiente, información importante para el análisis del desarrollo de la flora herbácea y arbórea en diferentes zonas de ladera, como una herramienta importante de diagnóstico y planeación para el aprovechamiento sostenible de zonas de ladera afectada por procesos de remoción en masa.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Surcolombiana, por habernos formado profesionalmente y al Ing. Daniel Rodríguez Acosta, por la acertada orientación y dirección en el desarrollo del presente trabajo de Tesis.

REFERENCIAS

- Cotler, C. M. (17 de Marzo de 2015). Evaluación de prácticas de conservación de suelos forestales en México: caso de las zanjas trinchera. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46112015000300006&script=sci_abstract
- Espin, G. (2019). Parámetros físicos y químicos para la determinación de la calidad de los suelos en la microcuenca jun-jun. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30131/1/Tesis-238%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20641.pdf>
- Serrano. (Octubre de 28 de 2014). Inestabilidad de laderas e infraestructura vial: análisis de susceptibilidad en la Sierra Nororiental de Puebla, México. Obtenido de Irasema Alcántara Ayala: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112015000300122
- Buono, G. G., Luque, J., Ciano, N., Beider, A., Massara Paletto, V., Massimelli, S., & Garcia, L. (2005). Revegetación natural de taludes en locaciones del departamento escalante, chubut. obtenido de <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-revegetacion-natural-talud-escalante-chubut.pdf>
- Espin, G. (2019). Parámetros físicos y químicos para la determinación de la calidad de los suelos en la microcuenca Jun-Jun. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/30131/1/Tesis-238%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20641.pdf>
- Jessica Katherine Orduña Pinzon, E. R. (2015). Diagnóstico de zonas inestables por procesos de remoción en masa en la avenida circunvalación entre calles 19 y 45 en. Obtenido de https://repository.ugc.edu.co/bitstream/handle/11396/3681/Diagn%C3%B3stico_%20zonas_inestables_remosi%C3%B3n_circunvalar.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mendez, C. E. (2017). Tabla munsell: teoría y práctica. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/329487502_Tabla_Munsell_Teoria_y_practica_y_Manejo_de_Tabla_de_colores_Munsell_y_regimen_de_Humedad
- Reyes, C. P. (2021). ¿Qué nos dice el color del suelo? Obtenido de <https://theconversation.com/que-nos-dice-el-color-del-suelo-158575#:~:text=El%20color%20pardo%20Damarillento%20puede,de%20menor%20o%20mayor%20tama%C3%B1o>.
- Rodriguez, D. (2021). Desarrollo de un método sistémico para la rehabilitación ambiental de coberturas vegetales y control de erosión en áreas degradadas, bajo principios de bioingeniería de suelos. (Tesis doctoral inédita) Doctorado en agroindustria y desarrollo agrícola sostenible, Universidad Surcolombiana.

Saavedra Mora, D., Murcia Torrejano, V., Machado Cuellar, L., Sánchez Cerquera, J., Estrada

Quintero, L. F., & Ordoñez Espinosa, C. M. (2019). Propiedades físicas y químicas de suelos y su relación con sistemas de producción en el municipio campoalegre, departamento del huila, colombia. obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7146306>

Wendy Ramirez, Saray Sanchez (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001

Lopez, S. A. (2017). Cimentacion: procesos constructivos y su diseño de ejecucion. Obtenido de <https://books.google.com.co/books?id=vWVVEAAAQBAJ&pg=PA41&dq=proctor+modificado+humedad+optima+que+significa&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwja1KTqs6b3AhV5STABHRLbCDQQ6AF6BAgFEAI#v=onepage&q=proctor%20modificado%20humedad%20optima%20que%20significa&f=false>

Hervias, C. E. (2009). Caracterización del monto, funcionalidad y evolución del sistema poroso de un Palehumult al ser sometido a ciclos de formación de estructura. Obtenido de <http://www.agriismart.com/wp-content/uploads/2015/04/Tesis-Pregrado-cesar.pdf>

Anexos

Anexo 1

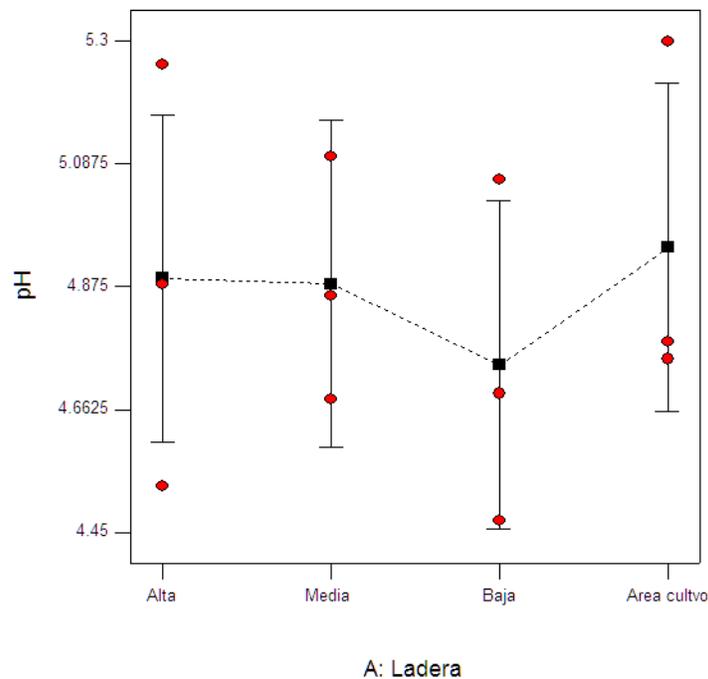


FIGURA 23. pH en las diferentes zonas de ladera

Fuente: software Design expert.

Response 1 pH

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0,0678	3	0,0226	0,2495629	0.8595	not significant
A-Ladera	0,0678	3	0,0226	0,2495629	0.8595	
Pure Error	0,72446667	8	0,09055833			
Cor Total	0,79226667	11				

The "Model F-value" of 0.25 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 85.95 % chance that a "Model F-value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

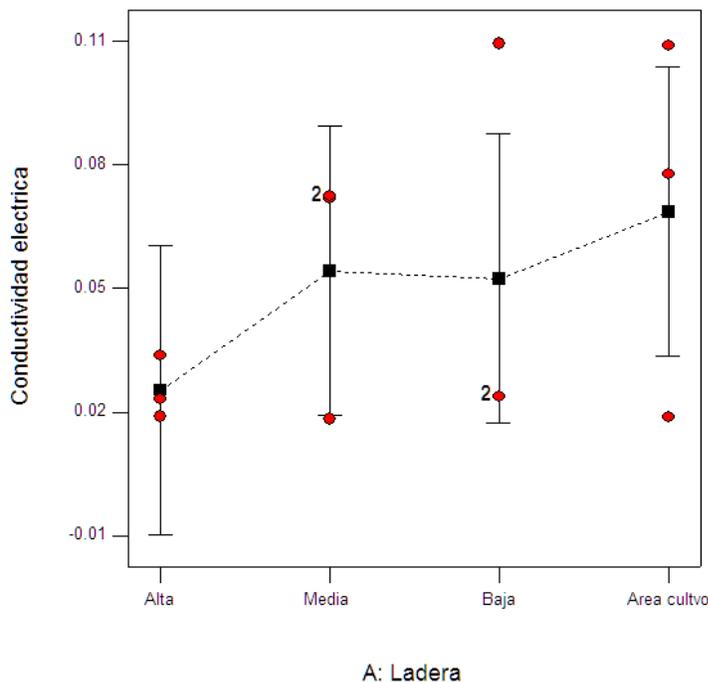
In this case there are no significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0,30092912	R-Squared	0,08557725
Mean	4,86333333	Adj R-Squared	-
C.V. %	6,18771316	Pred R-Squared	-
PRESS	1,63005	Adeq Precision	1,170321

Anexo 2



Anexo 3

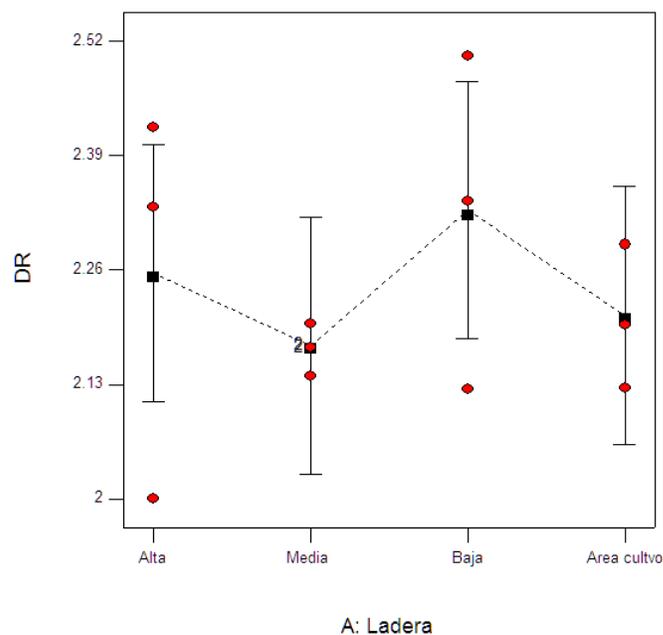


FIGURA 25. densidad real en las diferentes zonas de ladera.

Fuente: software Design expert.

Response 3		Densidad Real				
ANOVA for selected factorial mode						
Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]						
Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0,03887496	3	0,01295832	0,55690683	0.6580	not significant
A-Ladera	0,03887496	3	0,01295832	0,55690683	0.6580	
Pure Error	0,18614702	8	0,02326838			
Cor Total	0,22502197	11				

The "Model F-value" of 0.56 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 65.80 % chance that a "Model F-value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

In this case there are no significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

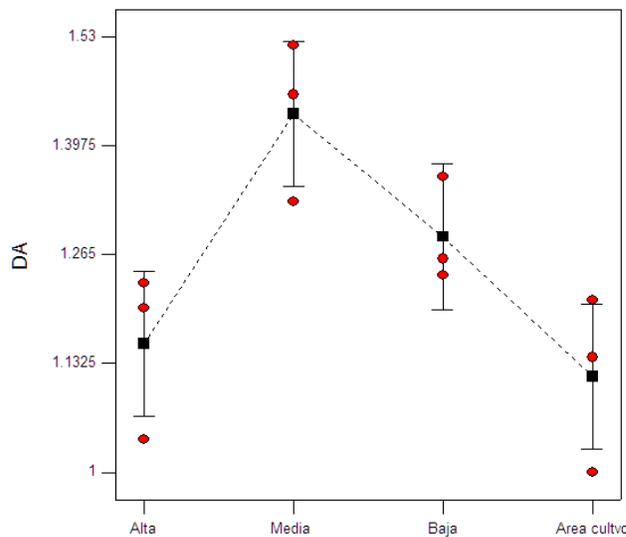
If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0,15253976	R-Squared	0,17276071
Mean	2,23698039	Adj R-	-

		Squared	0,13745403
		Pred R-Squared	-
C.V. %	6,81900286	Adeq Precision	1,7230134
PRESS	0,41883079		

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model.

Anexo 4



A: Ladera

FIGURA 26. densidad aparente en las diferentes zonas de ladera.

Fuente: software Design expert.

Response 4 DA
ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0,188025	3	0,062675	7,0752587	0.0122	significant
A-Ladera	0,188025	3	0,062675	7,0752587	0.0122	
Pure Error	0,07086667	8	0,00885833			
Cor Total	0,25889167	11				

The Model F-value of 7.08 implies the model is significant. There is only a 1.22% chance that a "Model F-Value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

In this case A are significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy),

model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0,09411872	R-Squared	0,72626903
Mean	1,24916667	Adj R-Squared	0,62361992
C.V. %	7,53452056	Pred R-Squared	0,38410532
PRESS	0,15945	Adeq Precision	5,88890565

The "Pred R-Squared" of 0.3841 is not as close to the "Adj R-Squared" of 0.6236 as one might normally expect. This may indicate a large block effect or a possible problem with your model

Anexo 5

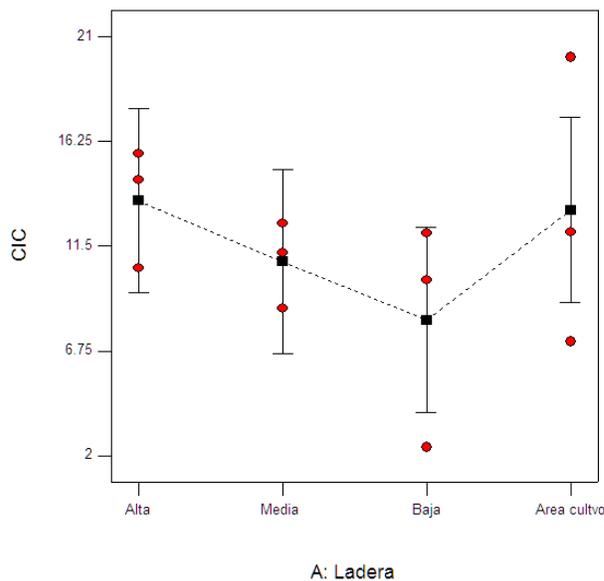


FIGURA 27. Capacidad de intercambio catiónico en diferentes zonas de ladera.

Fuente: software Desing expert.

Response 5 CIC

ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F
--------	----------------	----	-------------	---------	------------------

Model	56,128724	3	18,7095747	0,93990216	0.4654	not significant
A-Ladera	56,128724	3	18,7095747	0,93990216	0.4654	
Pure Error	159,246998	8	19,9058748			
Cor Total	215,375722	11				

The "Model F-value" of 0.94 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 46.54 % chance that a "Model F-value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

In this case there are no significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	4,46160003	R-Squared	0,26060841
Mean	11,4114016	Adj R-Squared	-
C.V. %	39,0977391	Pred R-Squared	-
PRESS	358,305746	Adeq Precision	2,10916849

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model.

Anexo 6

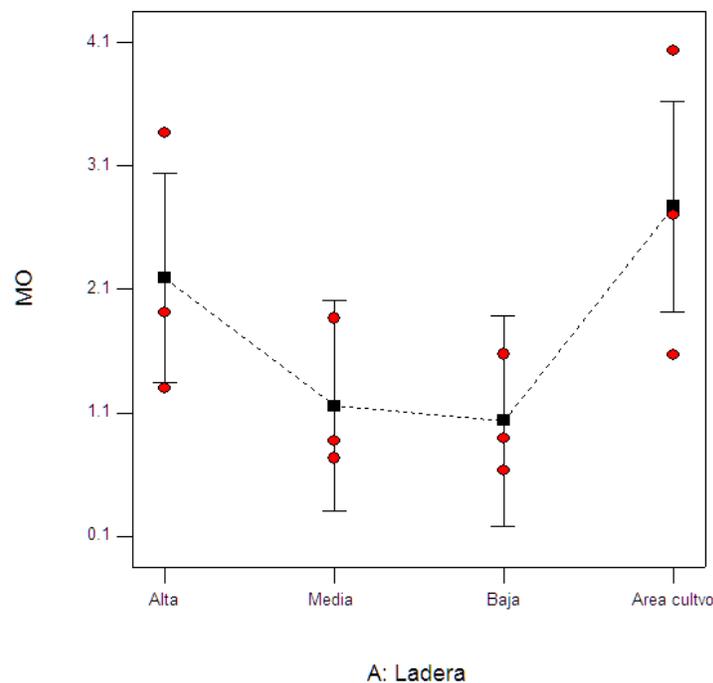


FIGURA 28. Materia orgánica en las diferentes zonas de ladera.

Fuente: software Design expert.

Response 6 MO

ANOVA for selected factorial

model

Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	6,28818742	3	2,09606247	2,55976931	0.1280	not significant
A-Ladera	6,28818742	3	2,09606247	2,55976931	0.1280	
Pure Error	6,55078555	8	0,81884819			
Cor Total	12,838973	11				

The "Model F-value" of 2.56 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 12.80 % chance that a "Model F-value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

In this case there are no significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0,90490231	R-Squared	0,4897734
Mean	1,78828182	Adj R-Squared	0,29843842
C.V. %	50,6017734	Pred R-Squared	-
PRESS	14,7392675	Adeq Precision	3,32381281

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model.

Anexo 7

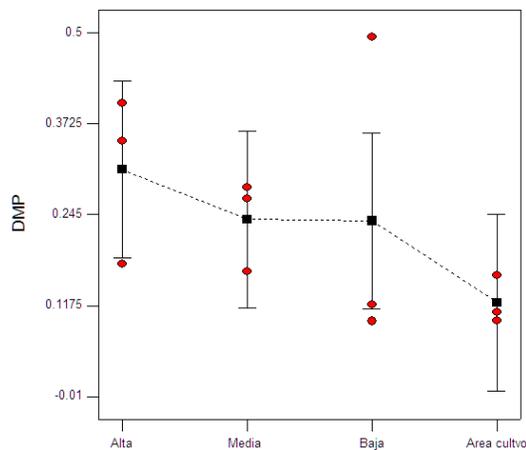


FIGURA 29. Diámetro medio ponderado en las diferentes zonas de ladera.

Fuente: software Design expert.

Response **7 DMP**
ANOVA for selected factorial model

Analysis of variance table [Classical sum of squares - Type II]

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F Value	p-value Prob > F	
Model	0,05387369	3	0,0179579	1,03505614	0.4276	not significant
A-Ladera	0,05387369	3	0,0179579	1,03505614	0.4276	
Pure Error	0,13879747	8	0,01734968			
Cor Total	0,19267117	11				

The "Model F-value" of 1.04 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 42.76 % chance that a "Model F-value" this large could occur due to noise.

Values of "Prob > F" less than 0.0500 indicate model terms are significant.

In this case there are no significant model terms.

Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant.

If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Std. Dev.	0,1317182	R-Squared	0,27961471
Mean	0,22625425	Adj R-Squared	0,00947022
C.V. %	58,2168961	Pred R-Squared	-
PRESS	0,31229432	Adeq Precision	2,4568562

A negative "Pred R-Squared" implies that the overall mean is a better predictor of your response than the current model.

Anexo 8

TABLA 4. Clasificación y porcentaje de suelo de acuerdo a la clasificación textural

Zonas de la ladera	%Arena	%Arcilla	%Limo	Clasificación
Media: área de mayor pendiente	31,5506	46,90631	21,543	Arcilloso
	29,3623	46,91639	23,721	Arcilloso
	23,4468	41,54067	35,013	Arcilloso
Alta: área donde inicia la afectación por la degradación de la ladera, contigua a los cultivos	23,9064	49,3454	26,748	Arcilloso
	29,9975	48,29809	21,704	Arcilloso
	34,532	42,21625	23,252	Arcilloso
Baja: pie de ladera	27,8381	34,24351	37,918	Franco Arcilloso
	12,3452	58,35878	29,296	Arcilloso
	28,8422	48,0927	23,065	Arcilloso
Cultivo: área de cítricos contigua a la parte alta de la ladera.	18,2618	42,45666	39,282	Arcilloso
	11,2325	41,97021	46,797	Arcillo-Limoso
	15,677	42,27898	42,044	Arcillo-Limoso

Fuente: software Design expert.

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual

Arena (%)
● Design Points

X1 = A: Ladera

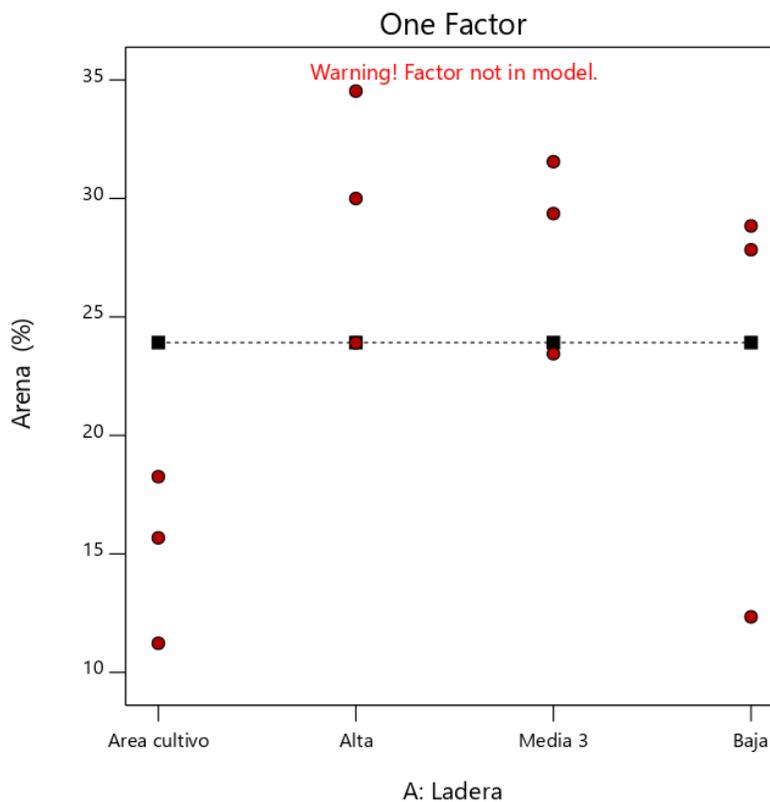


FIGURA 30. Porcentaje de arena pérdida en las diferentes zonas de la ladera.

ANOVA for selected factorial model

**Response 8: Arena **

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	0,0000	0			
Residual	672,11	11	61,10		
Lack of Fit	383,76	3	127,92	3,55	0,0675 not significant
Pure Error	288,35	8	36,04		
Cor Total	672,11	11			

Factor coding is **Coded**.
Sum of squares is **Type III - Partial**

P-values less than 0,0500 indicate model terms are significant. In this case there are no significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

The **Lack of Fit F-value** of 3,55 implies there is a 6,75% chance that a Lack of Fit F-value this large could occur due to noise. Lack of fit is bad -- we want the model to fit. This relatively low probability (<10%) is troubling.

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual

Arcilla (%)

● Design Points

X1 = A: Ladera

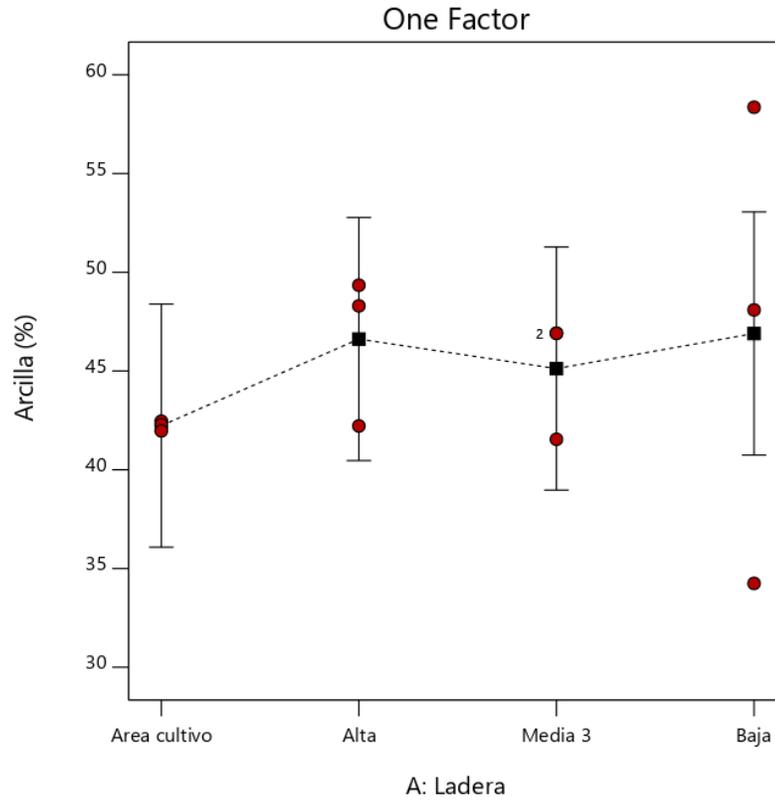


FIGURA 31. Porcentaje de arcilla pérdida en las diferentes zonas de la ladera.

ANOVA for selected factorial model

Response 9: Arcilla

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	41,08	3	13,69	0,3204	0,8106 not significant
A-Ladera	41,08	3	13,69	0,3204	0,8106
Pure Error	341,90	8	42,74		
Cor Total	382,99	11			

Factor coding is Coded.
Sum of squares is **Type II Classical**

The **Model F-value** of 0,32 implies the model is not significant relative to the noise. There is a 81,06% chance that an F-value this large could occur due to noise.

P-values less than 0,0500 indicate model terms are significant. In this case there are no significant model terms. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Design-Expert® Software
Factor Coding: Actual

Limo (%)
● Design Points

X1 = A: Ladera

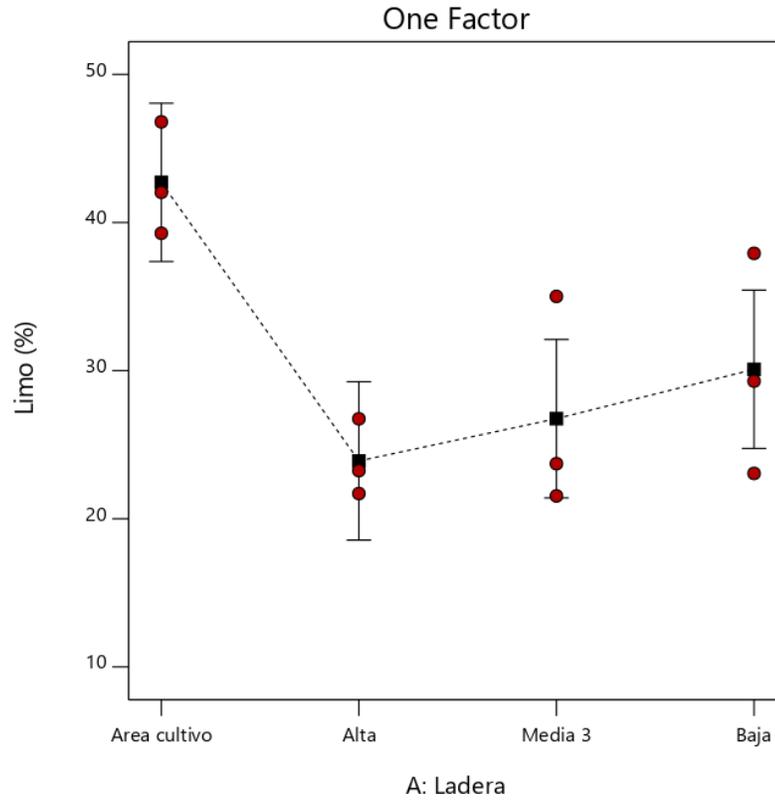


FIGURA 32. Porcentaje de limo perdido en las diferentes zonas de la ladera.

ANOVA for selected factorial model

Response 10: Limo

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value
Model	618,58	3	206,19	6,39	0,0162 significant
A-Ladera	618,58	3	206,19	6,39	0,0162
Pure Error	258,08	8	32,26		
Cor Total	876,66	11			

Factor coding is Coded.
Sum of squares is **Type II Classical**

The **Model F-value** of 6,39 implies the model is significant. There is only a 1,62% chance that an F-value this large could occur due to noise.

P-values less than 0,0500 indicate model terms are significant. In this case A is a significant model term. Values greater than 0.1000 indicate the model terms are not significant. If there are

many insignificant model terms (not counting those required to support hierarchy), model reduction may improve your model.

Fit Statistics

Std. Dev. 5,68 **R²** 0,7056
Mean 30,87 **Adjusted R²** 0,5952
C.V. % 18,40 **Predicted R²** 0,3376
Adeq Precision 5,7350

The **Predicted R²** of 0,3376 is not as close to the **Adjusted R²** of 0,5952 as one might normally expect; i.e. the difference is more than 0.2. This may indicate a large block effect or a possible problem with your model and/or data. Things to consider are model reduction, response transformation, outliers, etc. All empirical models should be tested by doing confirmation runs.

Adeq Precision measures the signal to noise ratio. A ratio greater than 4 is desirable. Your ratio of 5,735 indicates an adequate signal. This model can be used to navigate the design space.

Anexo 9

TABLA 5. Clasificación del color de las muestras de suelo de acuerdo a la tabla Munsell.

<i>Zona de Seco</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Húmedo</i>	<i>Clasificación</i>	
Media	10yr5/2	Grayish Brown	5yr4/2	Dark Reddish Gray
	5yr6/2	Pinkish Gray	10yr3/2	Very Dark Grayish Brown
	7,5yr6/2	Pinkish Gray	10yr2/2	Very Dark Brown
Alta	5yr6/2	Pinkish Gray	10yr4/4	Dark Yellowish Brown
	10yr6/3	Pale Brown	10yr5/4	Yellowish Brown
	2,5yr4/0	Dark Gray	7,5yr3/2	Dark Brown
Baja	5yr6/2	Pinkish Gray	7,5yr4/3	Dark Brown
	10yr7/4	Very Pale Brown	10yr5/6	Yellowish Brown
	10yr7/4	Very Pale Brown	10yr5/4	Yellowish Brown
Cultivo	7,5yr5/2	Brown	10yr2/2	Very Dark Brown
	10yr6/3	Pale Brown	10yr2/2	Very Dark Brown
	7,5yr5/0	Gray	5y2,5/1	Black

Fuente:
software
Design
n

expert.

Anexo 10

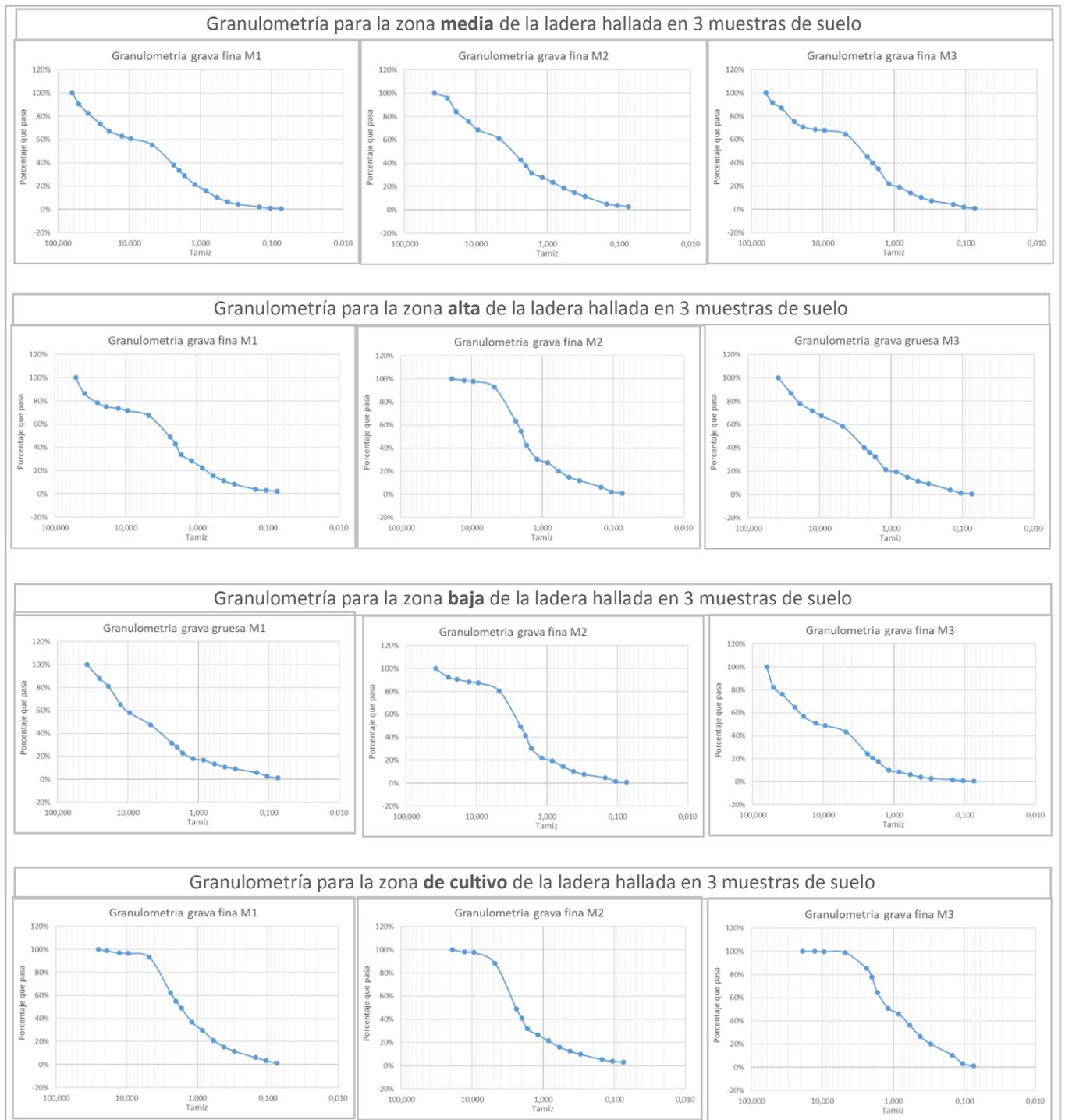


FIGURA 33. gráficas de granulometría para 3 muestras de suelo en cada una de las categorías de la zona de ladera objeto de estudio.

Fuente: software Design expert.

TABLA 6. Clasificación para el índice de plasticidad de acuerdo al límite de Atterberg.

Zonas de ladera	Índice de plasticidad	Clasificación	Gráficas límites de Atterberg
Media	M1: 8,33	Baja plasticidad	
	M2: 3,95	Ligera plasticidad	
	M3: 6,58	Baja plasticidad	
Alta	M1: 7,62	Baja plasticidad	
	M2: 8,94	Baja plasticidad	
	M3: 7,76	Baja plasticidad	
Baja	M1: 5,89	Baja plasticidad	
	M2: 10,96	Mediana plasticidad	
	M3: 9,35	Baja plasticidad	
Cultivo	M1: 5,71	Baja plasticidad	
	M2: 10,13	Mediana plasticidad	
	M3: 7,28	Baja plasticidad	

Fuente: software Design expert.

	Muestras	Densidad máxima (Lb/pe3)	Humedad optima (%)	Gráficas Proctor modificado		
Media	M1	118,17	22,26			
	M2	120,98	20,69			
	M3	119,98	20,84			
	Alta	M1	111,81	23,29		
M2	114,57	23,82				
M3	115,89	25,78				

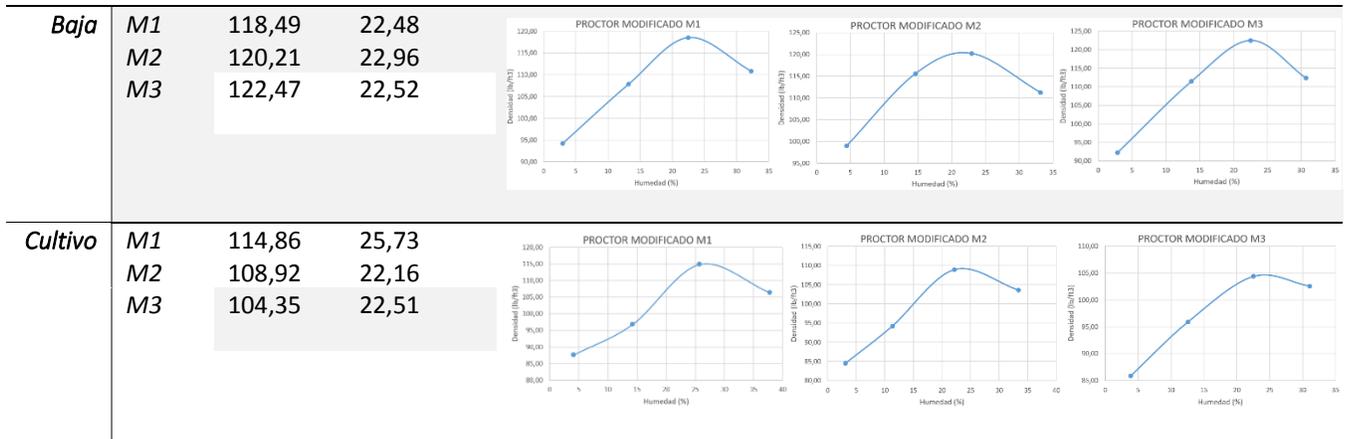
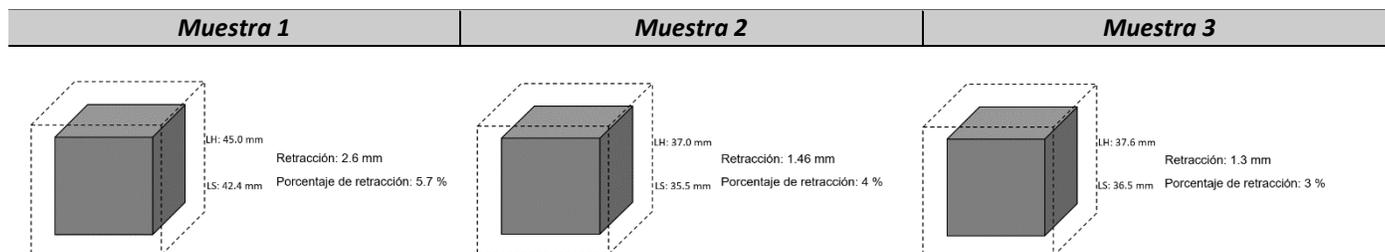


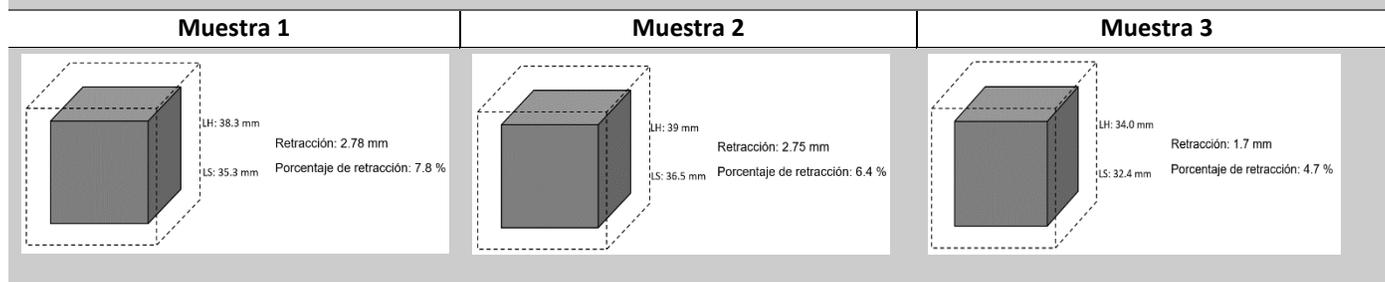
FIGURA 34. gráficas de proctor modificado para cada zona de ladera.

Fuente: software Design expert.

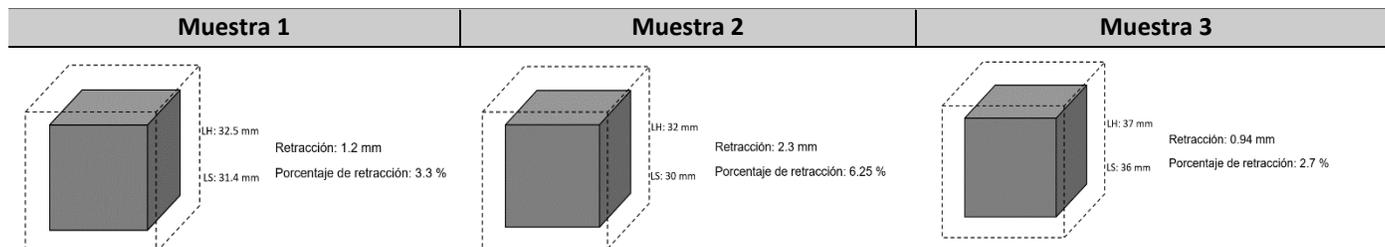
Graficas de coeficiente de extensibilidad lineal (COEL) en la parte media de la ladera



Graficas de coeficiente de extensibilidad lineal (COEL) en la parte alta de la ladera



Graficas de coeficiente de extensibilidad lineal (COEL) en la parte baja de la ladera



Graficas de coeficiente de extensibilidad lineal (COEL) en la parte de cultivo de la ladera

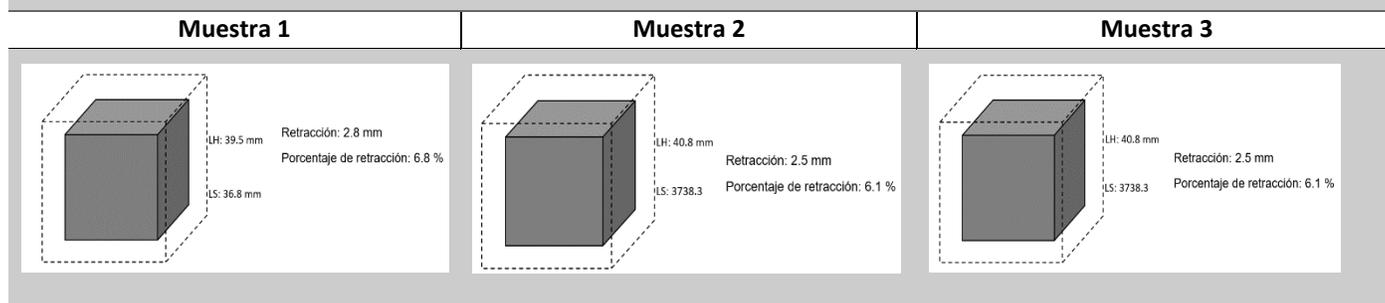


FIGURA 35. Gráficas de coeficiente lineal COEL de cada zona ladera.
Fuente: software Design expert.

Anexo 14

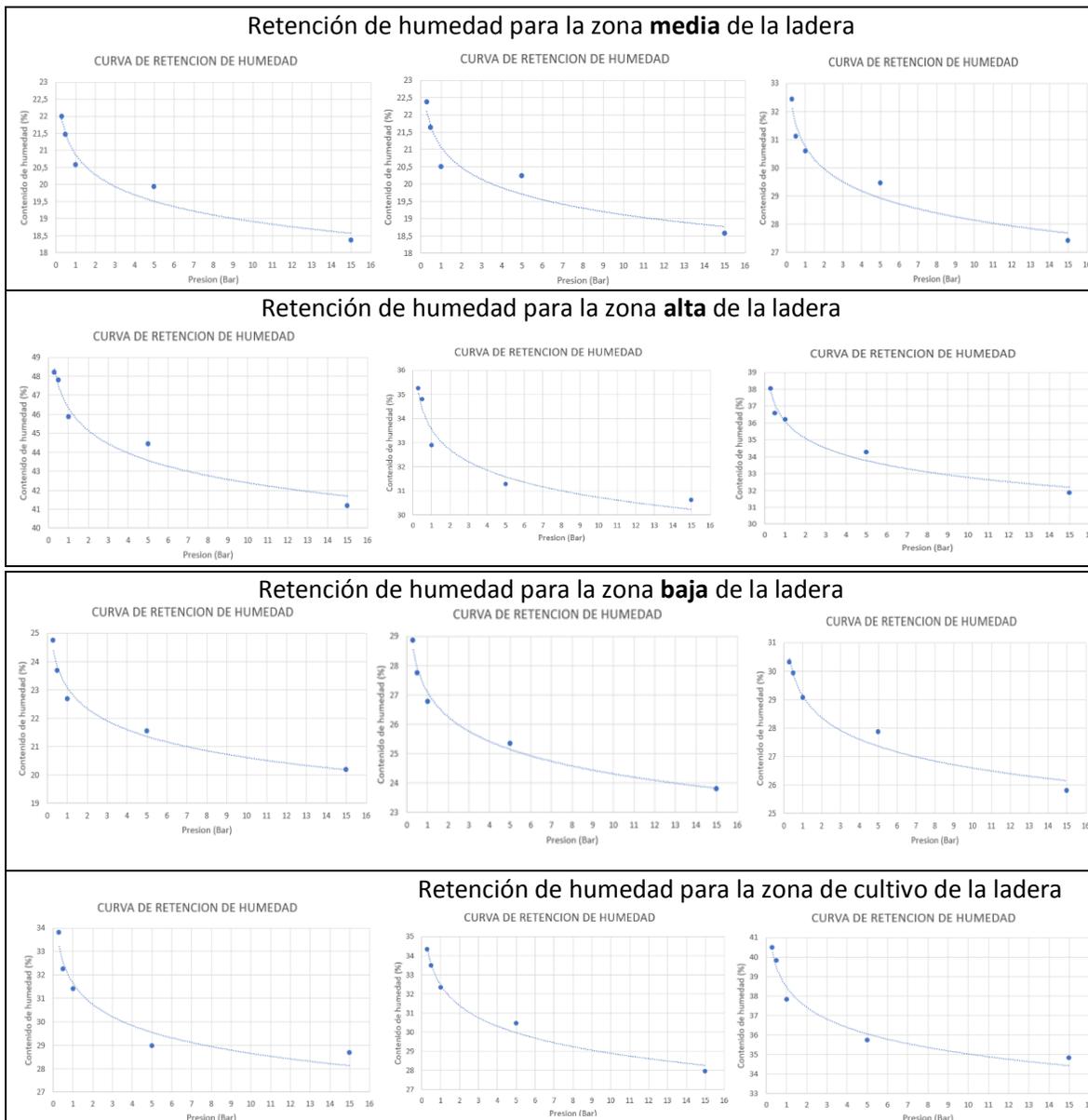


FIGURA 36. gráficas de retención de humedad para cada zona de ladera.

Fuente: software Excel.