

**EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANEJO GANADERO EN LOS
PROCESOS EROSIVOS Y EL CAMBIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS
Y QUÍMICAS EN SUELOS UBICADOS EN TRES TIPOS DE PENDIENTES DEL
MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO PUTUMAYO**

FASE A: ZONA PLANA

**ADRIÁN ANTONIO RIASCOS SALCEDO
BAYRON MILLER CORAL CRIOLLO
KRISTIAM JULIÁN PAZMIÑO BENAVIDES**

FASE B: ZONA MEDIA Y ALTA

**KEYLING LISBANY CÓRDOBA ROMÁN
MILADY PATRICIA JOSA SOLARTE
NATALIA CATERIN MORALES JAMIOY
DAVID GUSTAVO VILLOTA YAMÀ**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
INGENIERÍA AMBIENTAL
SIBUNDOY PUTUMAYO
2018**

**EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANEJO GANADERO EN LOS
PROCESOS EROSIVOS Y EL CAMBIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS
Y QUÍMICAS EN SUELOS UBICADOS EN TRES TIPOS DE PENDIENTES DEL
MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO PUTUMAYO**

FASE B: ZONA MEDIA Y ALTA

AUXILIARES DE INVESTIGACIÓN

**KEYLING LISBANY CÓRDOBA ROMÁN
MILADY PATRICIA JOSA SOLARTE
NATALIA CATERIN MORALES JAMIOY
DAVID GUSTAVO VILLOTA YAMÀ**

**Trabajo de grado, modalidad Línea de investigación presentado para optar el
Título de Ingeniero Ambiental.**

**Investigadora principal:
ADRIANA DEL SOCORRO GUERRA ACOSTA I.A. Esp. M. Sc**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DEL PUTUMAYO
INGENIERÍA AMBIENTAL
SIBUNDOY PUTUMAYO
2018**

NOTA

“Los conceptos, afirmaciones y opiniones contenidas en el presente trabajo son responsabilidad única y exclusiva de sus autores, y no comprometen al Instituto Tecnológico del Putumayo”. (CIECYT)

NOTA DE ACEPTACIÓN

Jurado 1

Jurado 2

Adriana del socorro Guerra Acosta I.A. Esp. M.Sc
Asesora.

Sibundoy Putumayo, Junio de 2018

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por haberme permitido llegar hasta este tan esperado momento después de tantos años de esfuerzos y en los cuales me ha llenado el corazón de fortaleza para poder sacar adelante mi carrera profesional, por permitirme compartir este triunfo con mi familia, amigos y compañeros.

A mis padres Patricia Román y Julián Córdoba por apoyarme en cada paso que doy y por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en mi educación tanto académica como de la vida. A ti madre por estar en cada momento de mi vida cuando más te he necesitado y por inculcarme valores que me han permitido mejorar como persona. A ti padre que a pesar de todo has sido mi aliento y bastón para poder superar cualquier obstáculo y seguir adelante. Todo este trabajo ha sido gracias a Ustedes.

A ti mi princesa Isabella, mi niña por haber sido y seguir siendo mi mayor motivación para poder sacar adelante este proyecto. Tu amor es el detonante de mi felicidad y las ganas de buscar siempre lo mejor para ti. Te amo mi amor.

*A mis hermanos Jhonier y Juan Pablo, por estar siempre conmigo y apoyarme en mi proceso de formación.
Mis hombres, los quiero mucho.*

A mi abuelita María, por haberme demostrado con su amor lo valiosa que es la vida. Desde acá te puedo decir que al fin mi viejita ¡lo logramos! Gracias mi Ángel, infinitas gracias por estar siempre conmigo.

A los demás miembros de mi familia, por sus valiosos consejos y que de una u otra manera me han demostrado su apoyo y siempre han estado conmigo. Gracias Familia, por creer en mí.

A mis compañeros y amigos: Milady, a Gustavo y Natalia, por habernos apoyado mutuamente durante nuestra formación y haber sacados adelante con éxito este trabajo. Gracias a Ustedes conocí el lado maravilloso de un Ser Humano. Dios y la Virgen me los Bendigan siempre.

*Al Instituto Tecnológico del Putumayo, por abrirme sus puertas y enriquecer mis conocimientos a través de tan grandioso talento humano: sus maestros que marcaron mi camino como universitaria.
A mi amiga Jenny por ser incondicional en todo momento, por haberme motivado a seguir con mis proyectos de vida y por ser la mejor de todas.*

Keyling Lisbany Córdoba Román.

DEDICATORIA

Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi madre María Pastora Jamioy Chicunque por su lucha constante, por enseñarme que los obstáculos se vencen con amor, que la humildad es la llave para abrir cualquier puerta y que si Dios está a mi lado lo tengo todo. Por enseñarme que la esperanza me hará mirar más allá y que la fe será la fuerza para empezar a vencer.

A mi hermana Karen Viviana Jamioy por su presencia en mi vida, por enseñarme a celebrarla segundo a segundo, por su paciencia, por todos los momentos juntas, juegos, travesuras, peleas, tristezas y por su contagiosa alegría, y quien junto a mi madre son mi mayor inspiración para seguir adelante.

A mis abuelos Gabriel Jamioy y Clementina Chicunque por su ejemplo, lucha y apoyo en todo momento.

A mi ahijado Samuel Alejandro Jamioy Chindoy por ser alegría en mi vida.

*Infinitas gracias a mis amigos y compañeros Milady Patricia Josa Solarte, David Gustavo Villota y Keyling Córdoba Román por compartir tantos momentos; alegrías y dificultades en este caminar, por su paciencia y apoyo incondicional en este logro y por enseñarme el verdadero significado de la amistad
Los llevo en mi corazón.*

A las Familias Josa Solarte y Villota Yamà por abrirme las puertas de su casa, por acogerme como parte de su familia.

*A la M.Sc. Adriana Del Socorro Guerra Acosta, asesora de este proyecto de grado, por contribuir siempre a través de sus conocimientos a mi formación
integral y profesional*

A los maestros, aquellos que con sus enseñanzas marcaron cada etapa de nuestro camino universitario.

Finalmente, infinitas gracias a todos mis familiares, amigos y compañeros por su apoyo moral, y por aportar a través de su vida al logro de este sueño.

“Ninguna meta está lejos si en tu alma y en tu mente hay suficiente valor para seguir a delante, si en tus proyectos pones todo tu empeño, y si has escogido caminar tomado de la mano de Jesús y María”.

Natalia Caterin Morales Jamioy

DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios por regalarme la vida, brindarme fortaleza y perseverancia para alcanzar mis sueños, por concederme la fe y el valor para luchar por mis metas y lograr este propósito.

“El señor es mi pastor, nada me faltará”

Salmo 23

A mis padres Pedro Pablo Josa Y María Beatriz Solarte, por ser mi fortaleza, por su apoyo incondicional, estar siempre a mi lado brindándome lo mejor de sí, y por confiar en mí siempre, por ser un ejemplo de esfuerzo, perseverancia y dedicación.

A mis hermanas, Darwin Pablo, quien me cuida desde el cielo, Edwin Alexander, por su apoyo incondicional en todo momento, y Víctor quien siempre ha estado pendiente de mí y demás familiares por enseñarme a creer en mis capacidades para llegar a cumplir grandes metas a pesar de tantas dificultades presentadas.

A mis sobrinos Darwin y Erwin por ser parte de mi vida, por darme una razón más para salir adelante y luchar por mis sueños, ahora les ayudare a cumplir los suyos, de igual manera enseñarles que todo en esta vida es posible con esfuerzo, dedicación y la fe puesta en el Todopoderoso.

A Natalia Morales, Keyiling Córdoba y Gustavo Villota por su amistad, compromiso y responsabilidad en todas las actividades propuestas, por su alegría, por llegar a mi vida hace 5 años y permitirme disfrutar al máximo junto a ustedes esta maravillosa etapa universitaria.

A la magister Adriana Guerra Acosta, por todos y cada uno de sus conocimientos brindados, por convertirse en un apoyo, por estar siempre presta a todo aquello que necesitábamos y por último confiar en nosotros y en nuestras capacidades, gracias porque ha logrado convertirse en una amiga, siempre la recordaré con mucho cariño.

A todos los docentes del Instituto Tecnológico del Putumayo, compañeros y amigos que en mi formación han contribuido, logrando llegar a ser portadores de conocimientos y fomentadores de inspiración.

Milady Patricia Josa Solarte

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar cada una de mis metas, por darme sabiduría y entendimiento, para poder sacar adelante mis estudios y lograr cada objetivo que me he propuesto, porque es el quien está presente cuidándome y dándome fortalezas para continuar y sobre todo porque es él ha estado conmigo en cada paso que doy.

Agradezco a toda mi familia por haber puesto su confianza y creer siempre en mí, enseñándome que todas las metas se dan con humildad, sacrificio y perseverancia, a todos ellos les dedico este trabajo porque han sabido sembrar en mí el deseo de superación y de triunfo en la vida, lo que ha llevado a conseguir este logro de hoy.

A mis padres Oscar y Rubiela por ser el pilar fundamental de mi vida, por apoyarme en cada momento de alegría, tristeza y dificultad. Por enseñarme que con esfuerzo y dedicación y sobre todo con humildad todos los sueños se pueden hacer realidad, gracias por sus esfuerzos y sacrificios para poder brindarme un mejor futuro y sobre todo por creer en mi capacidad y por brindarme todo su amor, cariño y comprensión, a mis padres mil gracias.

A mis hermanos Dayana y Edison por ser los compañeros incondicionales de mi vida ya que además de ser mis hermanos son mis amigos, por apoyarme y darme ánimos para continuar en esta etapa de mi vida y por acompañarme en momentos de dificultad y alegría.

A mis abuelos paternos y maternos, por su apoyo, sus consejos y por todas las enseñanzas y valores que me han inculcado y que me han ayudado en mi formación personal y profesional, en especial a mi abuelito Marcos por apoyarme incondicionalmente al principio de mi carrera profesional.

A mis tíos y primos por estar pendiente de mí y apoyarme incondicionalmente y sobre todo por siempre brindarme su amistad y darme ánimos para continuar y lograr alcanzar cada meta propuesta en mi vida.

En especial a mi padrino Armando Molina por ser una de las personas que más ha creído en mí, por brindarme su confianza y consejos y sobre todo por enseñarme que en la vida nada es fácil, que por más pequeña que sea la meta siempre existirá un esfuerzo y dificultad para lograrla.

A mis compañeras de trabajo Milady, Keyling y Natalia, porque gracias a nuestros esfuerzos logramos culminar una nueva etapa de nuestras vidas, gracias a ellas quienes a lo largo de este tiempo pusieron a prueba sus conocimientos y capacidades para el desarrollo de este trabajo, a pesar de todas las dificultades presentadas a través de nuestra formación profesional, porque además de ser compañeros fuimos amigos, y hermanos listos para darnos las mano en todo momento y dificultad.

Al instituto Tecnológico del Putumayo por compartir su conocimiento y por guiarnos durante este proceso de formación, y en especial a los docentes de la sub sede Sibundoy por sus conocimientos compartidos, amistad brindada y por su apoyo incondicional.

David Gustavo Villota Yamà.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de grado es un reto académico y personal que constituye un proceso de investigación forjado a lo largo de nuestra formación académica, en el que de un modo u otro, personas muy importantes en nuestras vidas, han contribuido con su enriquecimiento, de una manera práctica, demostrando su interés y brindando su apoyo moral. Es así como los autores expresan sus agradecimientos por el apoyo en la planeación, formulación, ejecución y evaluación del trabajo de grado a:

A la I.Ag. Esp. M.Sc. Adriana del Socorro Guerra Acosta, docente del Instituto Tecnológico del Putumayo subsele Sibundoy y asesora de nuestro trabajo de grado; quien desde el principio creyó en nuestro proyecto y nos apoyó de manera incondicional en todo momento.

Al Instituto Tecnológico del Putumayo, por habernos formado para ser profesionales, especialmente a la Subsele Alto Putumayo por facilitarnos los materiales y equipos del laboratorio.

A todos nuestros docentes por su compromiso con la formación integral que nos han brindado durante los estudios profesionales.

Al I.A. M.Sc. Ph. D Hernando Criollo, docente de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño; por su aporte de conocimientos y apoyo en el análisis estadístico de los datos obtenidos.

A los habitantes y propietarios de los predios ubicados en la Vereda San Miguel, y la Inspección de San Antonio de Porotoyaco del municipio de San Francisco, por su tiempo y colaboración con el desarrollo del proceso.

A la secretaria de planeación municipal de San Francisco Putumayo por facilitarnos la información necesaria sobre el consolidado de ganaderos para la realización de este proyecto.

Y a todas las personas que de una u otra manera, contribuyeron en este proceso investigativo.

TABLA DE CONTENIDO.

INTRODUCCIÓN.....	23
1. PROBLEMA.....	25
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.....	26
2. OBJETIVOS	27
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
3. JUSTIFICACIÓN	28
3.1. IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO	29
4. HIPÓTESIS	30
4.1. HIPOTESIS EXPERIMENTAL.....	30
4.2. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA	30
5. MARCO REFERENCIAL.....	31
5.2 MARCO TEÓRICO.....	31
5.2.1 Generalidades de los suelos	31
5.2.2 Impacto ambiental generado por el sobrepastoreo	32
5.2.3 Sistemas de producción ganadera	37
5.2.4 Importancia mundial del sector ganadero	42
5.2.5 El sobrepastoreo en Colombia.....	43
5.3 MARCO LEGAL	43
5.3.1 Según la Constitución Política Nacional de Colombia	43
5.3.2 Del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Decreto 2811 de 1974, de la parte VII de la tierra y los suelos, título I del suelo agrícola	44
5.3.3 Sistema General Ambiental Ley 99 de 1993	44
5.4 MARCO CONTEXTUAL.....	45
5.4.1 Departamento del Putumayo.....	45
5.4.2 Subregión Andino-Amazónica o Valle de Sibundoy	45
5.4.3 Municipio de San Francisco.....	45
5.5 MARCO CONCEPTUAL.....	46
5.5.1 Compactación	46

5.5.2	Degradación del suelo.....	46
5.5.3	Degradación por la lluvia.....	46
5.5.4	Erosión.....	46
5.5.5	Erosión en cárcavas.....	47
5.5.6	Erosión en surcos.....	47
5.4.7.	Erosión en terracetas.....	47
5.4.8.	Erosión hídrica.....	47
5.4.9.	Erosión laminar.....	47
5.4.10.	Erosión por escurrimiento.....	48
5.4.11.	Ganadería extensiva.....	48
5.4.12.	Pendiente.....	48
5.4.13.	Remoción en masa.....	48
5.4.14.	Sellado y encostramiento del suelo.....	48
5.4.15.	Sistemas de producción ganaderos.....	48
5.4.17	Suelo.....	49
6.	METODOLOGÍA.....	50
6.1.	LOCALIZACIÓN.....	50
6.2	DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	50
6.3	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	51
6.4	MUESTREO.....	53
6.4.1	Determinación de algunas propiedades físicas y químicas con relación a la pendiente y al tipo de manejo en sistemas ganaderos.....	53
6.4.2	Metodología de campo (recolección de muestras físicas y químicas).....	54
6.4.3	Metodología de laboratorio.....	58
6.5.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	66
6.5.1.	Análisis estadístico.....	66
7.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
7.1.	FASE B y COMPARACIÓN CON LA FASE A (ZONA ALTA, MEDIA Y PLANA).....	67
7.1.1.	Localización de unidades experimentales de la zona alta, media y plana.....	67
7.1.2.	Diagnóstico del estado actual de los suelos manejados por producción ganadera en zona alta, media y plana.....	72

7.2.3. Componentes principales profundidad 0 a 15 y 15 a 30 cm	83
7.2.4. Análisis de variables activas profundidad de 0 a 15 y 15 a 30 cm.....	85
7.2.5. Análisis de conglomerado de las profundidades de 0 a 15cm y 15 a 30 cm.	90
7.2.6. Analisis multivariado para las propiedades químicas a una profundidad de 30 cm.	109
7.2.8. Componentes principales (30 cm).....	116
7.2.9. Análisis de variables activas (30 cm).....	117
7.2.10. Análisis de conglomerado para la profundidad a 30 cm.	120
7.3. ANÁLISIS PARA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN RP.....	142
7.3.1. Análisis resistencia a la penetración en el los bosques secundarios a diferentes pendientes.	142
7.3.2. Análisis resistencia a la penetrabilidad en los sistemas convencionales en pendiente alta, media y plana.....	145
7.3.3. Análisis de resistencia a la penetrabilidad en los sistemas en franjas con cerca eléctrica en pendiente alta, media y plana.....	148
7.4 ANÁLISIS DE LA TEXTURA.....	151
8. CONCLUSIONES.....	160
9. ESTRATEGIAS.....	161
10. BIBLIOGRAFIA.....	164
11. ANEXOS.....	183

FIGURAS.

Figura 1. Pradera dividida en 12 potreros, para un pastoreo rotativo en invierno con 44 días de descanso y 4 días de utilización de cada potrero.	41
Figura 2. Pastoreo en franjas con cerco eléctrico móvil adelante y atrás de las vacas para separar el área de pastoreo del área en descanso.	42
Figura 3. Ubicación geográfica del municipio de San Francisco en el departamento del Putumayo, Colombia.	46
Figura 4. Sistemas de estudio en zona plana, media y alta para la evaluación del efecto de la ganadería en la Vereda San Antonio y San Miguel, Municipio de San Francisco, Putumayo.	52
Figura 5. Toma de muestras sin disturbar con anillo biselado para propiedades físicas 55	55
Figura 6. Toma de muestras disturbadas para análisis de propiedades físicas.	56
Figura 7. Medición de la resistencia a la penetración usando el penetógrafo.	56
Figura 8. Toma de muestras para humedad gravimétrica.	57
Figura 9. Toma de muestras disturbadas para propiedades químicas.	57
Figura 10. Realización de cajuelas e identificación de muestras.	58
Figura 11. Empacado y rotulación de muestras para análisis químico.	59
Figura 12. Saturación de muestras y cortes de exceso de suelo.	59
Figura 13. Montaje en el permeámetro.	60
Figura 14. Determinación de densidad aparente en laboratorio.	61
Figura 15. Determinación de la densidad real en laboratorio.	61
Figura 16. Peso del suelo seco y peso picnómetro.	62
Figura 17. Adición de suelo seco y agua al picnómetro.	62
Figura 18. Suelo hervido por 3 minutos y reposo durante 1 hora.	63
Figura 19. Peso del picnómetro con suelo y agua hervidos.	63
Figura 20. Determinación de la textura al tacto en laboratorio 64	64
Figura 21. Evaluación de la estabilidad estructural del suelo 64	64
Figura 22. Peso del suelo tamizado en el equipo Shaker.	65
Figura 23. Determinación de la Humedad gravimétrica del suelo.	66
Figura 24. Localización Puntos cardinales de las 18 unidades experimentales de investigación zona alta y media.	69
Figura 25. Localización Puntos cardinales de las 9 unidades experimentales de investigación zona plana.	71
Figura 26. Erosión por terracetos y erosión hídrica.	73
Figura 27. Expansión de frontera agropecuaria en zona de alta montaña.	73
Figura 28. Procesos erosivos con terracetos o patas de vacas 74	74
Figura 29. Impacto ambiental a fuentes hídricas 75	75
Figura 30. Degradación de suelo por erosión por terracetos y formación de cárcavas 76	76
Figura 31. Procesos erosivos con terracetos y patas de vaca 77	77
Figura 32. Saturación del suelo en fincas evaluadas 78	78

TABLAS.

Tabla 1. Propiedades físicas y método de determinación.....	53
Tabla 2. Propiedades químicas y método de determinación.....	54
Tabla 3. Identificación de las unidades experimentales de la zona alta con relación al propietario del predio.....	67
Tabla 4. Identificación de las unidades experimentales de la zona media con relación al propietario del predio.....	68
Tabla 5. Identificación de las unidades experimentales de la zona plana con relación al propietario del predio.....	70
Tabla 6. Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades físicas de 0 a 15 cm.....	79
Tabla 7. Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades físicas de 15 a 30 cm.....	79
Tabla 8. Correlaciones múltiples de profundidad de 0 a 15 cm.....	80
Tabla 9 Correlaciones múltiples de profundidad de 15 a 30 cm.....	81
Tabla 10. Matriz de componentes de 0 a 15 cm.....	84
Tabla 11. Matriz de componentes de 15 a 30 cm.....	84
Tabla 12. Variables activas de 0 a 15 cm.....	85
Tabla 13. Variables activas de 15 a 30 cm.....	88
Tabla 14. Identificación de los suelos que conforman cada uno de los tres grupos que constituyen el análisis de clasificación de 0 a 15 cm.....	90
Tabla 15. Caracterización de variables continuas grupo I.....	92
Tabla 16. Estimativo para densidad aparente en relación a la porosidad.....	93
Tabla 17. Calificación de la porosidad total del suelo.....	94
Tabla 18. Caracterización de variables continuas grupo II.....	94
Tabla 19. Clasificación de la conductividad hidráulica.....	96
Tabla 20. Caracterización de variables continuas grupo III.....	97
Tabla 21. Identificación de los suelos que conforman cada uno de los tres grupos que constituyen el análisis de clasificación de 15 a 30 cm.....	100
Tabla 22 .caracterización de variables continuas grupo I.....	102
Tabla 23. Calificación Diámetro Ponderado Medio.....	103
Tabla 24caracterización de variables continuas grupo II.....	104
Tabla 25. caracterización de variables continuas grupo III.....	105
Tabla 26. Estabilidad de agregados del suelo.....	106
Tabla 27 Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades químicas.....	109
Tabla 28. correlaciones multiples de las variables quimicas evaluadas a las profundidades de 30 cm.....	110
Tabla 29 Matriz de componentes principales (30cm).....	116
Tabla 30. Variables activas 30 cm.....	117
Tabla 31. Identificación de los suelos que conforman cada uno de los tres grupos que constituyen el análisis de clasificación.....	120
Tabla 32.caracterización de variables continuas grupo I.....	122

Tabla 33. Estándares generales para interpretar análisis de suelos con fines agrícolas	124
Tabla 34. Estimativos para CIC (cmol/kg^{-1})	124
Tabla 35. Estimativo de materia orgánica según el clima	125
Tabla 36 Estimativo para el contenido de Nitrógeno total	126
Tabla 37. Estimativo para azufre disponible en el suelo.....	127
Tabla 38. Estimativo para manganeso disponible en el suelo.....	128
Tabla 39. Estimativo para calcio de cambio en el suelo	128
Tabla 40. Estimativo para magnesio de cambio en el suelo	129
Tabla 41. Estimativo para potasio de cambio en el suelo	130
Tabla 42. Estimativo para fósforo disponible en el suelo	130
Tabla 43. Estimativo para hierro disponible en el suelo	131
Tabla 44. Caracterización de variables continuas grupo II.	132
Tabla 45. Estimativo para boro disponible en el suelo.....	133
Tabla 46. Estimativo de pH del suelo.....	134
Tabla 47. caracterización de variables continuas grupo III.	135
Tabla 48. Balance de base Mg/K.....	136
Tabla 49. Balance de base (Ca + Mg) / K.....	137
Tabla 50. Estimativo para cobre disponible en el suelo.....	139
Tabla 51. Interpretación de resistencia a la penetración (Mpa).....	142
Tabla 52. Resistencia a la penetrabilidad en los Bosques secundarios (S1).....	143
Tabla 53. Resistencia a la penetrabilidad en Sistema convencional (S3)	145
Tabla 54. Resistencia a la penetrabilidad en Franjas con cerca eléctrica (S2)	148
Tabla 55. Rango de erosionabilidad según la clase de textura.....	158
Tabla 56. Erosionabilidad de sistemas de manejo ganadero.	159

GRÁFICAS

Gráfica 1. Variables activas primer biplot a profundidad de 0 a 15 cm	87
Gráfica 2. Variables activas segundo biplot a profundidad de 15 a 30 cm.....	89
Gráfica 3. Dendograma de clúster para propiedades físicas (0-15 cm).....	91
Gráfica 4. Distribucion de grupos Profundidad 0-15 cm.	99
Gráfica 5. Dendograma de clúster para propiedades físicas (15 a 30).....	101
Gráfica 6. Distribucion de grupos Profundidad 15 - 30 cm.....	107
Gráfica 7. Variables activas segundo biplot a profundidad de 30 cm.....	119
Gráfica 8. Dendograma de clúster para propiedades químicas (30 cm).....	121
Gráfica 9. Distribucion de grupos Profundidad 30 cm.....	141
Gráfica 10. Resistencia a la penetrabilidad en los Bosques secundarios (S1) pendiente alta.	143
Gráfica 11. Resistencia a la penetrabilidad en los Bosques secundarios (S1) pendiente media.	144
Gráfica 12. Resistencia a la penetrabilidad en los Bosques secundarios (S1) pendiente plana.	144
Gráfica 13. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas convencionales en pendiente alta.	146
Gráfica 14. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas convencionales en pendiente media.	146
Gráfica 15. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas convencionales en pendiente plana.	147
Gráfica 16. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas en franjas con cerca eléctrica en pendiente alta.	149
Gráfica 17. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas en franjas con cerca eléctrica en pendiente media.	149
Gráfica 18 Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas en franjas con cerca eléctrica en pendiente plana.....	150
Gráfica 19. Clases texturales de los bosques secundarios (S1) a dos profundidades de muestreo en pendiente alta.....	152
Gráfica 20. Clases texturales de los bosques secundarios (S1) a dos profundidades de muestreo en pendiente media.	153
Gráfica 21. Clases texturales de los bosques secundarios (S1) a dos profundidades de muestreo en pendiente plana.	153
Gráfica 22. Clases texturales en los sistemas convencionales (S2) a dos profundidades de muestreo en pendiente alta.	154
Gráfica 23. Clases texturales en los sistemas convencionales (S2) a dos profundidades de muestreo en pendiente media.....	155
Gráfica 24. Clases texturales en los sistemas convencionales (S2) a dos profundidades de muestreo en pendiente plana.....	155
Gráfica 25 Clases texturales de los sistemas franjas con cerca eléctrica (S3) a dos profundidades de muestreo en pendiente alta.	156

Gráfica 26. Clases texturales de los sistemas franjas con cerca eléctrica (S3) a dos profundidades de muestreo en pendiente media.....	157
Gráfica 27. Clases texturales de los sistemas franjas con cerca eléctrica (S3) a dos profundidades de muestreo en pendiente plana.....	157

ANEXOS.

ANEXO A. Resultados obtenidos en el laboratorio y en campo de los tratamientos a profundidades 1 y 2 Pendiente Alta.	183
ANEXO B. Resultados obtenidos en el laboratorio y en campo de los tratamientos a profundidades 1 y 2 Pendiente Media.	184
ANEXO C. Clases texturales obtenidas en los diferentes tratamientos pendiente alta.	185
ANEXO D Clases texturales obtenidas en los diferentes tratamientos pendiente media.	186
ANEXO E. Resultados obtenidos en el laboratorio y en campo de los tratamientos a profundidades 1 y 2. Pendiente plana.	187
ANEXO F. Clases texturales obtenidas en los diferentes tratamientos Pendiente plana.	188
ANEXO G. Promedios de resistencia a la penetrabilidad en los tratamientos Pendiente plana.	188
ANEXO H. Valores promedios halladas por cada variable evaluadas de las propiedades químicas.	189

RESUMEN DEL PROYECTO.

El uso irracional del suelo, es uno de los principales efectos que causan la degradación del mismo, siendo por esto, catalogado como un problema ambiental, entre las cuales se puede destacar la actividad ganadera, que incide en el pisoteo continuo del terreno, ha llevado al incremento de impactos negativos que disminuyen la productividad de este importante recurso.

En el municipio de San Francisco departamento del Putumayo, la ganadería está consolidada como la actividad de mayor importancia económica a nivel local y regional, realizándose en suelos ubicados en pendientes altas, medias y planas, con sistemas de manejo de producción ganadera que generan graves impactos ambientales a los recursos naturales principalmente al suelo.

El presente trabajo de investigación hace un estudio sobre la influencia de los sistemas de manejo (sistemas convencionales y franjas con cerca eléctrica) en comparación al tratamiento testigo (bosques secundarios), sobre el cambio de algunas propiedades físicas como, conductividad hidráulica (cm/h), densidad aparente (g/cm^3), densidad real (g/cm^3), porosidad total (%), estabilidad estructural en seco (Shaker), textura al tacto, resistencia a la penetración (Mpa), humedad gravimétrica y volumétrica (%), y algunas propiedades químicas como: pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), elementos mayores nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), materia orgánica, bases intercambiables Ca, Mg y K, y menores comobuscando realizar un respectivo análisis de las propiedades más significativas a los cambios por el manejo que se ha venido dando por muchos años a partir de la actividad ganadera. El área de estudio de esta investigación se encuentra ubicada en la vereda San Miguel e inspección San Antonio.

Para dar cumplimiento al objetivo general, se evaluó predios con sistemas de manejo ganadero y así evaluar las propiedades en los lotes seleccionados, que corresponden a la zona plana con pendiente entre 0 y 8%, zona media con pendiente entre 8% a 45% y zona alta con pendientes mayor de 45%; tres subtratamientos, bosque secundarios (tratamiento testigo) (S1), sistema de ganadería convencional (S2), sistema en franjas con cerca eléctrica (S3); en cada subtratamiento se realizaron 3 repeticiones para un total de 27 unidades experimentales (lotes). En cada una de las unidades experimentales para el análisis de las propiedades físicas, se realizaron tres cajuelas en forma aleatoria con el método de anillo biselado, tomando muestras sin disturbar a dos profundidades de 0-15cm y de 15-30 cm, además de muestras disturbadas y para las propiedades químicas se tomaron 10 submuestras disturbadas realizando un recorrido en zig-zag para así obtener una muestra homogénea de 1000 g a una profundidad de 30 cm.

Los resultados arrojados por el sistema estadístico Multivariado, permitió definir las variables físicas y químicas más significativas en los tres tipos de manejo y tres

pendientes. A nivel de propiedades físicas se pudo determinar que los suelos de la zona de estudio no presentan alteraciones en estas propiedades y en cuanto a las propiedades químicas, estos suelos presentan problemas por deficiencia de bases intercambiables como Ca, Mg y K y elementos menores S y Mn, además de una alta toxicidad de Fe, asociado a los bajos niveles de pH registrados.

En términos generales el sistema con mayor influencia en las propiedades anteriormente mencionadas, en la zona de estudio, principalmente en la pendiente plana es el sistema convencional donde las unidades experimentales evaluadas presentaron procesos erosivos como terracetas o patas de vaca y caminos de ganado, asociados a los altos niveles de saturación en relación al alto nivel freático; mientras que en la pendiente media el sistema predominante es el sistema en franjas con cerca eléctrica, con respecto al tratamiento testigo (bosque secundario), donde los suelos se caracterizan por poseer altos contenidos de materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), carbono orgánico (CO) y nitrógeno total (N₂).

Otras de las propiedades a destacar son la resistencia a la penetración (RP), de la cual se pudo inferir que esta variable tiene una relación inversamente proporcional con la humedad gravimétrica (%), y que a nivel de profundidad esta tiende a aumentar. La pendiente que presenta mayor RP es la plana, esto debido a que el ganado se encuentra en constante movimiento dentro del área y más en época húmeda en busca de alimento y con respecto a la textura del suelo, se determinó que el área de estudio presenta una textura arenosa en un mayor porcentaje, relacionada a suelos con un bajo nivel de pH y un alto % de porosidad.

Teniendo en cuenta los análisis realizados para las propiedades físicas y químicas y conociendo las condiciones del suelo, es recomendable llevar una adecuada planificación a nivel de finca mediante la implementación de sistemas como el rotacional y silvopastoriles siendo estos considerados sistemas sostenibles, al igual que la incorporación de enmiendas orgánicas y calcáreas que permiten elevar el pH y aportar elementos como Ca y Mg que son deficientes en los suelos evaluados para la recuperación del suelo así mismo el uso racional del recurso hídrico.

Palabras claves: Propiedades físicas, propiedades químicas, sistema de manejo, pendiente y erosión.

ABSTRACT

The irrational use of the soil is one of the main effects that cause the degradation of the same, being by this, cataloged like an environmental problem, between which it is possible to emphasize the cattle activity, that incide in the continuous trampling of the land, has taken to the increase of negative impacts that decrease the productivity of this important resource.

In the municipality of San Francisco Department of Putumayo, livestock is consolidated as the activity of greatest economic importance at the local and regional level, occurring in soils located on high, medium and flat slopes, with livestock production management systems that generate serious impacts environmental to natural resources mainly to the soil.

The present research work makes a study on the influence of management systems (conventional systems and fringes with electric fence) compared to the control treatment (secondary forests), on the change of some physical properties such as, hydraulic conductivity (cm / h), bulk density (g / cm³), real density (g / cm³), total porosity (%), dry structural stability (Shaker), texture to the touch, resistance to penetration (Mpa), gravimetric and volumetric moisture (%), and some chemical properties such as: pH, cation exchange capacity (CIC), major elements nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), organic matter, interchangeable bases Ca, Mg and K, and minors. looking for a respective analysis of the most significant properties to changes by the management that has been taking place for many years from the livestock activity. The study area of this investigation is located in the San Miguel district and San Antonio inspection.

In order to comply with the general objective, farms with livestock management systems were evaluated and thus the properties in the selected lots, corresponding to the flat area with slope between 0 and 8%, medium area with slope between 8% to 45% and high area with slopes greater than 45%; three sub-treatments, secondary forest (control treatment) (S1), conventional livestock system (S2), strip system with electric fence (S3); in each sub-treatment 3 repetitions were performed for a total of 27 experimental units (lots). In each of the experimental units for the analysis of the physical properties, three trunks were performed in a random way with the beveled ring method, taking undisturbed samples at two depths of 0-15cm and 15-30cm, in addition to samples disturbed and for the chemical properties 10 disturbed subsamples were taken performing a zig-zag course to obtain a homogenous sample of 1000 g at a depth of 30 cm.

The results obtained by the Multivariate statistical system allowed to define the most significant physical and chemical variables in the three types of management and three pending. At the level of physical properties it could be determined that the soils of the study area do not present alterations in these properties and in terms of chemical properties, these soils present problems due to deficiency of

interchangeable bases such as Ca, Mg and K and minor elements S and Mn, in addition to a high toxicity of Fe, associated with the low pH levels recorded.

In general terms, the system with the greatest influence on the aforementioned properties, in the study area, mainly on the flat slope, is the conventional system where the experimental units evaluated presented erosive processes such as terraces or cow legs and cattle trails, associated with the high levels of saturation in relation to the high phreatic level; while in the middle slope the predominant system is the strip system with electric fence, with respect to the control treatment (secondary forest), where the soils are characterized by high content of organic matter (MO), cation exchange capacity (CIC), organic carbon (CO) and total nitrogen (N₂).

Other properties to highlight are the resistance to penetration (RP), from which it could be inferred that this variable has an inversely proportional relationship with the gravimetric humidity (%), and that at the depth level it tends to increase. The slope that presents greater RP is the flat one, this because the cattle is in constant movement inside the area and more in humid time in search of food and with respect to the texture of the soil, it was determined that the study area presents a sandy texture in a higher percentage, related to soils with a low pH level and a high% porosity.

Taking into account the analyzes carried out for the physical and chemical properties and knowing the soil conditions, it is advisable to carry out an adequate planning at the farm level through the implementation of systems such as rotational and silvopastoral systems, these being considered sustainable systems, as well as the incorporation of organic and calcareous amendments that allow raising the pH and contributing elements such as Ca and Mg that are deficient in the soils evaluated for the recovery of the soil, as well as the rational use of the water resource.

Keywords: Physical properties, chemical properties, management system, slope and erosion.

INTRODUCCIÓN.

El panorama de la actividad ganadera, a través de los tiempos, ha generado una serie de efectos ambientales nocivos para el conjunto de los seres de la naturaleza, y por consiguiente ha degradado el suelo, es así que según estudios de (Gerber *et al*, 2013) agrega que esta situación, se plantea como uno de los dos o tres sectores con repercusiones más graves en los principales problemas medioambientales a todos los niveles, desde el ámbito local hasta el mundial.

En otra publicación realizada también por Ruiz & JZ-Janica, (2012), aseguran que la actividad ganadera es una de las causas principales de los problemas ambientales más apremiantes del mundo, como el calentamiento del planeta, la degradación de las tierras, la pérdida de biodiversidad, la contaminación atmosférica y la contaminación del agua.

La ganadería es causa del deterioro del suelo, principalmente por el efecto del sobrepastoreo, el cual provoca la pérdida o degradación de la cubierta vegetal y con ello la posibilidad de retener la materia orgánica y las partículas del suelo. Los sitios sobre pastoreados están más expuestos a la erosión hídrica y eólica (Semarnat, 2009). En la época de lluvias, puede presentarse la compactación acelerada de la superficie por el pisoteo continuo del ganado, lo que crea una estructura impermeable que favorece la formación de láminas de agua y la creación de encostramientos superficiales que impiden la infiltración y con ello el desarrollo vegetal (Semarnat, 2009).

El pisoteo, la defoliación y el retorno de nutrientes por los animales pueden considerarse en términos generales como los principales efectos causados en el ecosistema de pastizales por el pastoreo (Hilder citado por Funes, 1975), el pisoteo de los animales en los sistemas ganaderos ocasiona la compactación de los suelos y con ello se modifica notoriamente la relación suelo-aire-agua. La diversidad biológica en estos sistemas sufre reducciones notorias.

Un estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC (2002) indica que las estadísticas del manejo del suelo en Colombia muestran que el uso potencial para agricultura es algo mayor a 18 millones de hectáreas, mientras que actualmente se dedican tan sólo cuatro millones. Por el contrario, la ganadería utiliza actualmente 38 millones de hectáreas, cuando sólo son aptas 15 millones.

El establecimiento de la ganadería en el territorio colombiano tiene un alto costo ambiental. Pérdida de hábitats naturales, fragmentación de ecosistemas y disminución en la productividad de los suelos se cuentan dentro de las consecuencias del modelo ganadero que actualmente prospera en el país (Latam & Rico, 2017).

En el municipio de San Francisco predomina la actividad ganadera caracterizada por la utilización de grandes extensiones de tierra con baja capacidad de carga animal, donde la base de la alimentación del ganado son las pasturas naturales con tendencia a la ampliación de la frontera agrícola, lo cual implica una continua presión del recurso bosque para la adecuación de potreros, particularmente en la parte media y alta del municipio; siendo esta una amenaza para la conservación y protección de los recursos naturales, principalmente en las zonas media y altas, donde por efecto de la deforestación y el pisoteo del ganado, se están presentando fenómenos de deslizamientos, erosión, y remoción en masa (CORPOAMAZONIA , 2009).

La estructura de la presente investigación está constituida por un resumen que abarca lo que trata el documento incluyendo las cinco palabras claves que se destacan en el mismo; la introducción hace relevancia del tema en cuestión con algunos aspectos como el objetivo, la metodología utilizada y demás; por otro lado, los resultados que se obtuvieron a través del trabajo en campo, pruebas de laboratorio y análisis estadístico; igualmente las conclusiones y estrategias de solución planteadas.

Ahora bien, el objetivo principal de esta investigación, es conocer el estado actual de algunas propiedades físicas y químicas del suelo en pendientes; plana (0 – 8%), media (8 – 45%) y alta (> 45 %) en las veredas San Miguel e Inspección San Antonio lo que permitirá posteriormente llevar a cabo una comparación entre ellas y finalmente, considerar posibles estrategias de solución a nivel local.

1. PROBLEMA.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La actividad ganadera es una de las causas principales de los problemas ambientales más apremiantes del mundo, tanto en aspectos ambientales incluido el aire, y atmosfera, suelo, agua y biodiversidad como la degradación de los suelos y la pérdida de biodiversidad, la contaminación atmosférica y la contaminación del agua. En lo que respecta a la degradación de los suelos, es importante considerar que la ganadería es la actividad humana que ocupa una mayor superficie de tierra (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2009).

El impacto ambiental de estos sistemas fluctúa entre el desgaste absoluto e irreversible de los suelos hasta la restauración parcial de ecosistemas degradados, en muchas fincas ganaderas en los terrenos en pendientes es común observar la erosión en terracetos tipo pata de vaca y son frecuentes ya los movimientos en masa y las cárcavas. Además, en las actividades pecuarias de pastoreo se generan otros impactos ambientales como compactación del suelo, la uniformidad genética al privilegiarse el monocultivo de gramíneas mediante quemadas estacionales y eliminación de la sucesión vegetal por medios químicos (herbicidas) o físicos, la desecación de humedales, la construcción de vías de penetración, la demanda creciente de madera para cercos, corrales de manejo y camiones ganaderos, la contaminación del agua. (Murgueitio, 1999).

La desaparición de la vegetación protectora causa una exposición del suelo al aire y aumenta la evaporación en su superficie lo que tiene un efecto altamente significativo porque los suelos volcánicos poco desarrollados, que se encuentran en la mayoría de los páramos, se secan irreversiblemente y no recuperan su morfología original cuando se vuelven a mojar (Hofstede, 1997).

A lo que respecta a las áreas de ganadería en el país, se destaca el estudio ejecutado por el Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas (SINCHI, I. A., 2006) al agregar que: “El territorio Amazónico representa el mayor porcentaje de bosques naturales para Colombia, más sin embargo, las selvas amazónicas la están acabando para transformarla en pastizales hacia la búsqueda de la ganadería extensiva”.

En Colombia la ganadería se ha desarrollado de manera extensiva, destinándose grandes terrenos, con bajos niveles de inversión y manejo inadecuado de praderas, lo cual ha provocado un deterioro ambiental de los ecosistemas y un impacto negativo en los sectores socioeconómicos del país (Murgueitio et al., 2011). Dichas pasturas, caracterizadas por una baja o nula diversidad vegetal y por la implementación de inadecuadas prácticas de manejo como el sobrepastoreo del

ganado, la quema y la mecanización han causado una pérdida de calidad de los suelos, reduciendo los indicadores productivos, la biodiversidad e incrementando la necesidad de insumos químicos externos (fertilizantes y plaguicidas).

Los diagnósticos ambientales de carácter nacional demuestran con claridad que las cinco grandes regiones biogeográficas de Colombia (Andina, Amazonía, Orinoquía, Caribe y Pacífica) tienen problemas de potrerización acelerada por el incremento de la ganadería extensiva (Vera R. , 2008).

En el departamento del Putumayo el sector ganadero es de gran importancia dentro de la economía de la región andina, pues de los 4254 productores pecuarios de la región el 26,8 % se dedica a esta actividad, siendo el propósito principal en el valle de Sibundoy (Gobernación del Putumayo, 2016).

La economía para la región del Valle de Sibundoy se mueve en torno a los sistemas convencionales de producción que se encuentran en las zonas de bajo lomerío y la parte plana en la cual sobresale la producción ganadera lechera. En la parte plana el alto nivel freático dificulta el manejo de praderas y afecta la calidad de los pastos repercutiendo en altos costos de producción para el mantenimiento del ganado y baja calidad en la leche de la cual hace parte el municipio de San Francisco. La ganadería es una actividad importante en la economía de la región es extensiva y con explotación doble propósito, esta actividad se desarrolla en la parte baja y en las laderas de la zona de estudio; principalmente con especies como el kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) y en menor proporción bajo pastos como ryegrass (*Lolium multiflorum*), saboya (*Panicum maximum*). La capacidad de carga promedio de cabezas / hectárea es de 0,7, inferior a las registradas para el piedemonte Amazónico y la región Amazónica. Para el municipio de San Francisco la capacidad de carga promedio de cabezas/hectárea es de 0,6 (Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Alta del río Putumayo POMCA, 2010).

Por esto se hizo necesario realizar esta investigación la cual permitió evaluar el cambio de algunas propiedades físicas y químicas, con lo cual se determinaron los efectos generados por la actividad ganadera en la vereda San Miguel e Inspección de San Antonio del municipio de San Francisco en zonas de pendientes alta, media y plana.

1.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN.

¿Qué efectos tienen los sistemas de manejo de producción ganadera en los procesos erosivos y el cambio de algunas propiedades físicas y químicas de suelos ubicados en diferentes pendientes en el municipio de San Francisco Putumayo?

2. OBJETIVOS.

2.1. OBJETIVO GENERAL.

Evaluar los sistemas de manejo ganadero en los procesos erosivos y el cambio de algunas propiedades físicas y químicas en suelos ubicados en tres tipos de pendientes del municipio de San Francisco Putumayo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar los procesos erosivos presentes en los suelos evaluados.
- Analizar algunas propiedades físicas como, conductividad hidráulica (cm/h), densidad aparente (g/cm), densidad real (g/cc), porosidad total (%), estabilidad estructural en seco (Shaker), textura al tacto, resistencia a la penetración, humedad gravimétrica (%), humedad volumétrica (%) y algunas propiedades químicas como, pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), elementos mayores nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), materia orgánica, bases intercambiables Ca, Mg y K y elementos menores.
- Definir las estrategias que se puedan implementar en los suelos de la zona de estudio.

3. JUSTIFICACIÓN.

La ganadería es una de las actividades más importantes que da lugar a una adecuada seguridad alimentaria, no solo por sus aportes directos en la sustentabilidad familiar, sino por todas aquellas actividades derivadas a partir de la transformación de sus productos. Además, contribuye a la economía local generando empleo y utilidades al sector rural.

Sin embargo, la implementación de la ganadería en los últimos años ha contribuido de manera considerable al deterioro ambiental, por el uso indiscriminado de los recursos naturales. La ganadería basada en pastoreo, también conocida como de tipo extensivo, ha realizado el mayor cambio en los paisajes rurales y debe reconocerse como un proceso de enormes repercusiones ambientales y sociales (El Espectador, 2017).

La ganadería es un factor importante en los cambios negativos que sufren los suelos en donde ésta se desarrolla, no solo por la deforestación que se realiza en aras de tener pastizales para su alimentación, sino, por el pisoteo permanente que realizan los animales, lo que va desencadenando una serie de cambios estructurales denotándose la erosión, la pérdida de nutrientes, compactación y endurecimiento, acidificación, disminución en el contenido de materia orgánica y pérdida de diversidad (Sadeghian, Rivera, & Gómez, s.f). Este proceso es mucho más dañino cuando la vaca sube una pendiente pronunciada, ya que, en este caso, la masa se concentra en las patas traseras cuando el animal asciende. Estos procesos de compactación afectan el desarrollo de las plantas porque el suelo genera más fuerza mecánica sobre la raíz, así su crecimiento es más lento” (Gonzales J. , 2017).

La ganadería en Colombia ocupa más tierra de la que debería, los suelos tienen una excesiva sobrecarga pecuaria. Las cifras reveladas por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) son al menos inquietantes: en el país 14 millones de hectáreas son destinadas a ganadería neta aun cuando solo 2,7 millones son aptas para tal fin (Revista semana, 2017).

En Colombia los departamentos con más cantidad de tierras aptas para la ganadería no son los que más tierra destinan para ello. Por ejemplo, Casanare tiene 780.000 pero solo usa 622.000. En contraste está Bolívar que dobla sus posibilidades: tiene capacidad para 314.000 y utiliza 615.000 para ganadería. Además, hay cinco departamentos que no tienen ningún porcentaje de tierras aptas para la ganadería, sin embargo se destinan miles. Estos son Quindío (27.000), Guainía y Vaupés (5.500), y Amazonas (3.600) (Revista semana, 2017).

Las consecuencias medioambientales del mal uso del suelo son preocupantes. “El ganado se ha convertido en un común denominador en los páramos y humedales, afectando así estas importantes recargas de agua. Además, se ha dejado a un lado

la agricultura por la ganadería, lo que causa que las tierras más arables se vuelvan áridas y pierdan su capacidad para poder cultivar”, explicó Nieto Escalante (Revista semana, 2017).

La actividad ganadera en el departamento del Putumayo se centra en municipios como Puerto Leguízamo, Puerto Asís, Valle de Guamuèz y Puerto Guzmán en el bajo y medio putumayo, y para el alto putumayo el Valle de Sibundoy, en donde la economía se basa en la producción agropecuaria, principalmente en la actividad ganadera proporcionando a la comunidad sustentabilidad y sostenibilidad, obteniéndose así un efecto positivo para el desarrollo económico y social, pero a la vez un efecto negativo a nivel ambiental, puesto que conlleva ya sea a corto, mediano o largo plazo al deterioro del recurso suelo.

En el Municipio de San Francisco, tanto en la zona de la ladera como zona media y zona plana se han presentado procesos de degradación del suelo, causados por la expansión de la frontera ganadera para pastoreo, lo que incluye el desmonte y descubierta del suelo, ocasionando compactación, pérdida de la estabilidad estructural, hundimiento de los suelos por drenajes excesivos, al igual que procesos de erosión. Por tal razón es importante realizar un estudio de los efectos que tienen los sistemas de producción ganadera sobre algunas propiedades físicas en suelos histosoles del municipio de san francisco departamento del putumayo. Que permita conocer la situación actual a nivel de física de suelos de este tipo de sistema de producción.

La presente investigación se enfocó en realizar un análisis detallado que permita conocer la situación actual de los suelos manejados con sistemas de producción ganadera a través de la evaluación de algunas propiedades físicas y químicas en la veredas San Miguel e Inspección de San Antonio en el municipio de San Francisco del departamento del Putumayo; así, en el presente trabajo se expondrá los cambios de las propiedades anteriormente evaluadas y por ende, los efectos que estos sistemas han generado a los suelos del área de estudio. Es por esto que esta investigación será de múltiples beneficios para estudiantes, profesionales y para la población en general que se ve afectada por este tipo de problemas ambientales, de igual manera contribuirá a la formulación de políticas y soluciones teórico prácticas de tipo ambiental, cultural y social.

3.1. IMPACTO AMBIENTAL DEL PROYECTO.

El impacto que se desea obtener mediante este trabajo de investigación es que a partir de los resultados obtenidos a través de la evaluación de algunas propiedades físicas y químicas del recurso suelo en tres tipos de pendiente y dos sistemas de manejo y un comparativo del estado natural del suelo que son los bosques secundarios, se permitan establecer estrategias de solución que ya sea a corto, mediano o largo plazo, permitan contribuir a la seguridad alimentaria y el equilibrio ambiental de este importante recurso para la zona de estudio y el Valle de Sibundoy.

4. HIPÓTESIS.

4.1. HIPOTESIS EXPERIMENTAL.

¿El manejo de diferentes sistemas ganaderos produce procesos erosivos y cambios en las propiedades físicas y químicas en las tres pendientes de los suelos evaluados?

4.2. HIPÓTESIS ESTADÍSTICA.

Ho: $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$. No existen diferencias estadísticas significativas entre los tres tratamientos y tres subtratamientos, con relación al efecto del pastoreo en los cambios de propiedades físicas y químicas de los suelos.

Ha: $\mu_j \neq \mu_k$; $j \neq k$. Por lo menos un tratamiento y/o subtratamientos produce un valor medio diferente, con relación al efecto del pastoreo en los cambios de las propiedades físicas y químicas de los suelos.

5. MARCO REFERENCIAL.

5.2 MARCO TEÓRICO.

5.2.1 Generalidades de los suelos. El suelo es un sistema vivo, heterogéneo y dinámico que incluye componentes físicos, químicos, biológicos y sus interacciones. Por lo tanto, para evaluar su calidad resulta necesario la medición y descripción de sus propiedades (Luters & Salazar, 1999). La definición más completa y mundialmente aceptada define la calidad como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sustentar la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat (Doran & zeiss, 2000).

❖ **Propiedades del suelo.** La calidad del suelo depende de un conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas, las cuales, de acuerdo con su variabilidad espacial y temporal, sensibilidad a cambios de uso y manejo del suelo, clara discriminación entre los sistemas de manejo, rápida respuesta al cambio y facilidad en su interpretación y ejecución, pueden ser utilizadas como indicadores de calidad; (Gil-Stores, Trasar-Cepeda, Leiros, & Seoane, 2005). Es así como dichas propiedades edáficas pueden emplearse como mecanismos de análisis para detectar tendencias y determinar si los actuales sistemas de manejo conservan, mejoran o degradan el suelo (Luters & Salazar, 1999). Adicionalmente, los indicadores resumen o simplifican información relevante haciendo que un fenómeno o condición de interés se haga perceptible, y cuantifican, determinan y proporcionan información acerca del estado actual del funcionamiento edáfico (Navarrete , Vela, López, & Rodríguez, 2011).

❖ **Indicadores de la calidad del suelo.** De acuerdo con Luters & Salazar (1999), los indicadores de calidad se clasifican en cuatro categorías: indicadores visuales, físicos, químicos y biológicos. Los indicadores visuales pueden ser obtenidos a través de visitas de campo, así como de la percepción de los agricultores y los conocimientos locales; básicamente estos se basan en la observación e interpretación fotográfica; por ejemplo, la exposición del subsuelo, el cambio del color del suelo, la presencia de cárcavas, el encharcamiento prolongado, la presencia de malezas, la escorrentía, el pobre desarrollo de vegetación, entre otros, todos ellos son indicios claros de que la calidad del suelo ha sido alterada y está siendo amenazada (Navarrete , Vela, López, & Rodríguez, 2011). Aunque la mayoría de propiedades del suelo son interdependientes, es importante determinar o involucrar todas o la mayoría de propiedades (físicas, químicas y biológicas) para proveer una mejor comprensión de las condiciones (Doran & zeiss, 2000).

En otro estudio Singer & Erwing (2000), afirman que las características físicas del suelo son una parte necesaria en la evaluación de la calidad de este recurso porque no se pueden mejorar fácilmente. Las propiedades físicas que pueden ser utilizadas

como indicadores de la calidad del suelo son aquellas que reflejan la manera en que este recurso acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que se pueden encontrar en el crecimiento de las raíces, la emergencia de las plántulas, la infiltración o el movimiento del agua dentro del perfil y que además estén relacionadas con el arreglo de las partículas y los poros. La estructura, densidad aparente, estabilidad de agregados, infiltración, profundidad del suelo superficial, capacidad de almacenamiento del agua y conductividad hidráulica saturada son las características físicas del suelo que se han propuesto como indicadores de su calidad.

De la misma manera Schoenholtz (2000), propone que de las propiedades anteriormente mencionadas es importante destacar que la textura y la profundidad son propiedades que cambian poco en el tiempo como consecuencia del uso o manejo del suelo, por lo cual, a pesar de la importancia e influencia que ejercen sobre otras propiedades edáficas, especialmente la textura, su uso como indicadores resulta cuestionable. Lo anterior se asocia a que la textura, por ejemplo, solo cambia en periodos geológicos de tiempo o debido a cataclismos y, por lo tanto, modificaciones en el uso de suelo o manejo no causan alteraciones en dicha propiedad.

Por otro lado Soil Quality Institute SQI (1996), asegura que los indicadores químicos se refieren a condiciones de este tipo que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos. Algunos indicadores son la disponibilidad de nutrientes, carbono orgánico total, carbono orgánico lábil, pH, conductividad eléctrica, capacidad de adsorción de fosfatos, capacidad de intercambio de cationes, cambios en la materia orgánica, nitrógeno total y nitrógeno mineralizable.

Según lo afirmado por Rosell (1999), se conoce como materia orgánica del suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo. Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera S. , 2000).

5.2.2 Impacto ambiental generado por el sobrepastoreo. El uso de la agricultura y ganadería conlleva a un gran impacto ambiental, por ejemplo, se tiene que talar árboles para lograr un suelo apto para cultivos y pastizales, hacer embalses de agua para los regíos alterando las fuentes de agua, medidas que disminuyen la biodiversidad de especies en el planeta y los recursos ambientales (Boza *et al.*, 2016).

En lo que respecta a la degradación de los suelos, es importante considerar que la ganadería es la actividad humana que ocupa una mayor superficie de tierra. En

total, a la producción ganadera se destina el 30% de la superficie terrestre del planeta. Alrededor del 73% de los pastos y praderas del mundo destinados a esta actividad, están situados en zonas áridas; en las cuales, se presenta algún grado de degradación causada principalmente por el sobrepastoreo, la compactación y la erosión resultantes de la acción del ganado (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2009).

La ganadería extensiva corresponde a los sistemas de producción de tipo extractivo y de pastoreo extensivo tradicional en donde su ciclo ganadero y de las condiciones climáticas es muy alta, el nivel de inversiones y el uso de tecnología son muy bajos. Esta estructura productiva no tiene en cuenta el contexto agroecológico, generando graves consecuencias para la biodiversidad y el equilibrio del ecosistema (Balcàzar, 1992).

En el otro extremo de la ganadería extensiva está la ganadería intensiva tipo revolución verde, no menos nociva que la primera. Esta ganadería es una gran depredadora de recursos y altamente contaminante; pese a que requiere poco espacio para su establecimiento, el alimento requerido se produce por la agricultura en grandes extensiones. Por ejemplo, el 95% de la soya se produce para el consumo animal. A su vez, esta agricultura es muy nociva con el medio ambiente, requiere grandes cantidades de agua y de insumos químicos y presenta una gran dependencia del petróleo (Vergara, 2010).

A esto hay que añadir el pisoteo del ganado que reduce la densidad aparente y la tasa de infiltración del suelo, incrementando así el flujo superficial. Si las pendientes son fuertes y los suelos erosionables, la erosión puede conducir a la desertificación de los terrenos. Sin embargo, esto solo puede suceder cuando el sobrepastoreo es continuo, es decir, cuando un número excesivo de animales intenta alimentarse en una zona que dispone de una cantidad limitada de forraje (Dregne, 1978).

La acción del animal crea condiciones que modifican el microclima y el suelo. En éste la humedad, temperatura, porosidad, transformación y reciclaje de nutrientes pueden sufrir grandes variaciones. El efecto del pisoteo está influenciado por las condiciones climáticas, el comportamiento animal, disponibilidad de la pastura, cobertura basal de las especies y suelo desnudo, sistema de pastoreo y carga animal (Carrillo, 2003).

Además el pastoreo, por ejemplo influye en forma indirecta en la pastura por la compactación y la desagregación del suelo. La primera a su vez tiene influencia sobre el movimiento de agua en el suelo. Si bien la cantidad de agua de lluvia que penetra en el suelo o que corre sobre él se ve influida por la cantidad y volumen de las plantas que lo cubren, así como la pérdida de humedad del suelo por evaporación directa, está regulada en cierta forma por la cobertura o techo que las plantas hacen sobre él (Carrillo, 2003).

La compactación afecta también a la pastura al reducir el crecimiento de las raíces. En los casos en que se logra desagregación de la superficie del suelo pueden producirse fenómenos de erosión. En condiciones naturales de pastoreo, con baja carga animal, las áreas que se presentan más dañadas son aquellas que sirven de punto de reunión de los animales, como las proximidades de los bebederos o los lugares donde establecen sus “dormideros” (Carrillo, 2003).

El daño aumenta en las áreas donde por cualquier causa se produce un sobrepastoreo, ya que al disminuir la cubierta vegetal se provoca un aumento de temperatura en el suelo por acción directa de los rayos solares, lo que a su vez trae apareada una mayor velocidad de evaporación de agua y posibles daños en yemas y coronas, llegando incluso a la muerte de las plantas. Si se compara la acción de los animales adultos con respecto a los jóvenes, se observa un mayor daño en la vegetación y en el suelo con los animales más pesados, lo que aumenta cuando corren o se desplazan y el suelo está helado o muy húmedo (Carrillo, 2003).

Cuando las lluvias son abundantes o hay escasa evapotranspiración y el agua permanece sobre el suelo o saturándolo, se produce barro y daños variables. Estos pueden agruparse en dos a corto plazo y los que sólo se manifiestan a largo plazo. Los primeros son los daños físicos directos por quebraduras, roturas, cortes o incluso arranque de plantas. Los efectos a largo plazo son una consecuencia de la compactación por pisoteo, que provoca pérdidas de aireación del suelo y por lo tanto en el intercambio gaseoso y en la infiltración del agua (Carrillo, 2003).

La compactación del suelo restringe el crecimiento de las plantas por falta de aire y agua, ya que por un lado no se permite la respiración normal de las raíces y por otro lado gran parte del agua que cae como lluvia se escurre superficialmente. La pérdida superficial de una lluvia suave comienza rápidamente en una pastura intensamente pastoreada debido al doble efecto de la falta de cobertura y la compactación del suelo con disminución de la porosidad. En una pradera excelente y bajo un pastoreo liviano ocurrirá todo lo contrario, ya que el agua caerá lentamente hacia el suelo y será fácilmente absorbida por el mismo sin que se produzca escurrimiento (Carrillo, 2003).

El sobrepastoreo produce disminución o pérdida de la cobertura vegetal, degradación de la composición de la flora, pérdida de la sombra, remoción del mantillo y compactación del suelo por efecto del pisoteo del ganado. El resultado de estas acciones provoca la pérdida de la capacidad de amortiguar la acción de la lluvia y el viento y la capacidad de retención de agua, lo cual conduce al desecamiento, erosión y por último a la desertificación (Claver *et al*, 1989).

Específicamente sobre la fauna silvestre, el impacto del sobrepastoreo se produce principalmente a través de modificaciones en su hábitat. Ello afecta la heterogeneidad espacial (horizontal y vertical) y, al disminuir las posibilidades de

ocupación, la diversidad de la comunidad y en consecuencia, su estabilidad (Kufner *et al*, 1989).

La actividad ganadera genera efectos negativos sobre el recurso suelo, tales como, la compactación resultante del tránsito de los animales que afecta en forma negativa el flujo del agua a través del perfil y la estabilidad estructural, procesos que causan erosión superficial y remociones masales conocidos en el lenguaje común como deslizamientos, derrumbes o avalanchas. Estas son causadas o agravadas por obras de ingeniería donde se destacan las vías de orden menor destinadas a la recolección permanente de leche fresca, las que generalmente están mal trazadas y con manejos inadecuados de las aguas de escorrentía. Los dos tipos de degradación han llevado a una pérdida acelerada e irreversible del suelo y con ello la productividad, lo que conduce a una ganadería más costosa, menos competitiva e insostenible a través del tiempo (Murgueitio, 1999).

❖ **Degradación del suelo.** De acuerdo con Aguilar (2003), el uso y manejo que se hace del suelo provoca con gran frecuencia una alteración tan profunda de sus propiedades que determina una pérdida gradual de su capacidad productiva, de su fertilidad, de sus posibilidades de uso y aprovechamiento y, en ocasiones, hasta la pérdida del suelo mismo como elemento fundamental del medio natural. En consecuencia, el suelo puede llegar a experimentar una pérdida de calidad tan acentuada que le incapacite para ejercer las múltiples funciones que puede realizar.

La expansión de la producción ganadera es un factor fundamental en la deforestación, especialmente en América Latina, donde se está produciendo la deforestación más intensa: el 70 % de las tierras de la Amazonia que antes eran bosques hoy han sido convertidas en pastizales y los cultivos forrajeros cubren una gran parte de la superficie restante. Alrededor del 20 % de los pastos y praderas del mundo, un 73 % de las cuales está situado en zonas áridas, presenta algún grado de degradación causada principalmente por el sobrepastoreo, la compactación y la erosión resultantes de la acción del ganado. Estas tendencias afectan particularmente a las tierras áridas ya que la ganadería es el único medio de vida para los pobladores de estas áreas (Steinfeld, 2009).

❖ **Erosión del suelo.** De acuerdo con las investigaciones de Verstappen & Van Zuidam (1971), los suelos degradados resultan de la acción de múltiples procesos que ocasionan la pérdida o disminución de la productividad y afectan sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas. La erosión es un proceso físico por el cual la totalidad o partes del suelo son removidas, transportadas y depositadas en otro lugar por la acción de los distintos agentes como agua, viento, hielo o gravedad. La antropogénesis o morfogénesis antrópica se refiere a la presencia del hombre, como agente de cambios en el paisaje, generando reacciones de adaptación para establecer un nuevo equilibrio.

La erosión del suelo es una de las principales problemáticas ambientales a nivel mundial, la degradación de los ecosistemas afectados involucra indirectamente un impacto económico y social, mientras que los efectos que presenta en el recurso suelo son variados y muchos de ellos se asocian a la pérdida de productividad (Den Biggealar et al., 2004 & Jagadamma et al., 2009).

Por otra parte Gayoso y Alarcón (1999), resaltan que entre los factores topográficos que tienen influencia en la erosión hídrica, se encuentran esencialmente el ángulo de la pendiente (mientras más pronunciada, mayor severidad de la erosión); el largo de la ladera (a mayor largo de la ladera se incrementa la severidad de la erosión); y la forma de la ladera.

Según Mardones (2007) la erosión se va incrementando a medida que aumenta la pendiente del terreno, en una superficie plana, las gotas de lluvia salpican las partículas de suelo en todas direcciones, en cambio en una superficie con pendiente las partículas de suelo que toman dirección hacia arriba recorren menos distancia que si fueran hacia abajo (debido a su trayectoria parabólica), por lo cual, estadísticamente cuando se observa al salpique en un terreno inclinado, las partículas de suelo tienden a desplazarse hacia abajo, aumentando la proporción en función de la pendiente.

Las pérdidas de suelo por erosión hídrica crecen al aumentar la inclinación y la longitud de un talud como consecuencia del incremento de la velocidad y volumen de la escorrentía superficial, y sus efectos se hacen sentir mucho más fuertemente en las partes inferiores de las laderas. Un factor importante que se desprende de la forma topográfica es el que guarda relación con la capacidad de la vegetación de desarrollarse en forma proporcionalmente inversa al aumento de la pendiente (a 45° ya se estima improbable el crecimiento de vegetación en forma natural).

Con respecto a las relaciones entre erosión y gradiente de pendiente, Morgan (1997) señala que, las cantidades de suelo perdidas, en las etapas de salpicadura y flujo precanalizado, son directamente proporcionales al gradiente de pendiente hasta alcanzar un máximo a inclinaciones de 14 a 18%. Similares resultados son informados por (Evans, 1980) con gradientes del orden de 5 a 10%.

La forma de la pendiente también influye en las tasas de erosión, pues éstas cambian a medida que varía la inclinación del terreno (Terrence, Foster, & Renard, 2002).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2000), la topografía es un importante factor para determinar la erosión del suelo, las prácticas de control de la erosión y las posibilidades de labranza mecanizada del suelo, y tiene una influencia primaria sobre la aptitud agrícola de la tierra.

Cuanto mayor es el ángulo de la pendiente de la tierra y la longitud de esa pendiente, mayor será la erosión del suelo. Un aumento del ángulo de la pendiente causa un aumento de la velocidad de escorrentía y con ello la energía cinética del agua causa una mayor erosión. Las pendientes largas llevan a una intensificación de la escorrentía, aumentando su volumen y causando así una erosión más seria (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2000).

Además de los problemas de erosión, las áreas con pendientes agudas también presentan un menor potencial de uso agrícola. Esto es debido a la mayor dificultad o a la imposibilidad de la labranza mecánica o al transporte en o del campo, en este tipo de pendientes. La labranza en estos casos puede además ser limitada por la presencia de suelos superficiales (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2000).

❖ **Agua.** El mundo avanza hacia un incremento de los problemas de escasez de agua dulce y agotamiento de los acuíferos. Se prevé que para el año 2025 el 64 % de la población mundial viva en cuencas bajo estrés hídrico (Steinfeld, 2009).

La ganadería también afecta la recarga de los acuíferos en tanto que influye en los procesos de compactación del suelo, reducción de la infiltración, degradación de los márgenes de los cursos de agua, desecamiento de llanuras inundadas y disminución de los niveles freáticos. La ganadería, al incrementar la deforestación, incrementa también las escorrentías y reduce los cursos de agua durante la estación seca (Steinfeld, 2009).

5.2.3 Sistemas de producción ganadera.

❖ **Sistemas ganaderos tradicionales.** Un sistema es un grupo de componentes que funcionan e interrelacionan para lograr un propósito común, tiene límites específicos, posee entradas y salidas, reacciona como un todo ante los estímulos externos (Pereira *et al.*, 2011).

Vera & Vega (1979), definen el sistema de producción como la forma equilibrada y armónica en que se combinan los factores de producción para lograr unos productos o servicios de forma eficiente, pudiendo llamarse modelos a cada una de las principales formas de variación existentes dentro de cada sistema.

La explotación de los animales útiles al hombre puede adoptar dos grandes modalidades: el llamado sistema extensivo y el intensivo. Ambos tienen características radicalmente diferentes, tanto en lo que se refiere a las especies explotadas, como a razas y hasta individualidades, y también en cuanto a sistemas de alimentación, manejo, entre otros (Sotilo & Vijil, 1978).

De todas formas las notas que diferencian ambos sistemas no siempre están muy definidas, debido a la variedad de combinaciones que de hecho se dan en la práctica, lo que hace que sea muy difícil encuadrar las diversas posibilidades dentro de uno u otro sistema. En realidad se trata de una gama de formas muy próximas cuyos límites se confunden, al menos en los detalles. Según los autores citados (Sotilo & Vijil, 1978), se puede establecer una cierta secuencia entre los diversos sistemas:

- Pastoreo
- Explotación extensiva
- Explotación semi-extensiva
- Explotación semi-intensiva
- Explotación intensiva
- Explotación ultra-intensiva

❖ **Sistemas extensivos.** Los sistemas de producción animal, existentes en Latinoamérica son principalmente los sistemas extensivos, los sistemas intensivos y los sistemas trashumantes (Pereira *et al.*, 2011).

Como lo afirma Muller (1995), los animales pastan directamente en un mismo lote durante un tiempo prolongado (más de 90 días), utilizando la producción existente de la pastura y sus rebrotes. Si bien es la forma más empleada en las explotaciones agropecuarias, es la menos recomendable de aprovechar el forraje.

Según Sotilo & Vijil (1978), el sistema extensivo es el más antiguo y clásico de todos los existentes. No supone una simple evolución de las formas primitivas de ganadería (nomadismo, pastoreo), sino que por el contrario, constituye un fenómeno independiente y característico que se ve influenciado por una climatología no compatible con una agricultura rentable.

Durante mucho tiempo se han venido equiparando los términos pastoreo y extensivo, en el sentido de grandes extensiones de terreno; pero la realidad es mucho más compleja, ya que el factor determinante, con independencia del soporte territorial de la explotación, es la productividad animal alcanzada (Sotilo & Vijil, 1978).

Sánchez (1961), destaca como características de la explotación extensiva las siguientes:

Relativas al proceso agrario: Apropriadadas superficies de pastizales o dehesas, zonas elevadas y áridas o francamente montuosas y escasa capacidad para el cultivo agrícola.

Referentes al ganado: Biotipos ambientales, poder acomodaticio aumentado, limitado poder de transformación e índice de fecundidad reducido.

Elementos cooperantes: Clima desfavorable, régimen pluviométrico deficiente, sistemas hidrográficos alejados, abrevaderos escasos, ciclos alimenticios intermitentes, ausencia de albergues y estados sanitarios adversos.

Todo esto resume a la explotación extensiva como aquella que mantiene animales de escasa productividad, rústicos y no seleccionados para una única aptitud, en un medio desfavorable para el cultivo agrícola rentable y del que dependen en gran medida para su alimentación, con unas exigencias mínimas de capital y mano de obra especializada.

❖ **Sistema Intensivo.** Al respecto Sotilo & Vijil (1978) señalan que este es el otro gran sistema en que tradicionalmente se ha dividido la explotación del ganado. Supone una forma de explotación animal altamente tecnificada, dirigida no ya al aprovechamiento de los recursos naturales de otra forma improductivos, como en el caso del régimen extensivo, sino por el contrario, a situar al ganado en condiciones tales que permitan obtener de él altos rendimientos productivos en el menor tiempo posible.

Sánchez (1961) señala, al igual que hace con el sistema extensivo, una serie de factores que concurren en la explotación intensiva:

a. *Relativos al terreno:* superficies apropiadas al número de animales que se pretenden explotar y existencia de zonas regables o, al menos con gran capacidad forrajera, etc.

b. *Referentes al ganado:* biotipos constitucionales, gran capacidad de transformación, alto índice de fecundidad, etc.

c. *Factores complementarios:* climatología óptima, edificaciones adecuadas, ciclos alimenticios ininterrumpidos y equilibrados, estado sanitario óptimo, canales efectivos de comercialización.

En resumen se trata de tres aspectos que permiten definir la explotación intensiva como aquella que, abordada con un criterio empresarial, se caracteriza por un control completo sobre los animales seleccionados para una determinada aptitud, aportando los medios necesarios -alimentación, mano de obra, instalaciones, etc. para posibilitar la maximización de las producciones.

Como lo asegura Pereira *et al.*, (2011), son sistemas que atentan contra el medio ambiente y son ecológicamente insostenibles, además de depender de insumos externos y alto consumo de energía, son altamente contaminantes y no viables para la pequeña y mediana producción.

❖ **Sistemas Silvopastoriles.** Existen numerosas experiencias en América Latina y el Caribe en la aplicación de sistemas silvopastoriles (SSP). El uso de

árboles maderables y forrajero asociados a gramíneas y leguminosas herbáceas o en multiestratos, ha sido una práctica exitosa (Iglesias *et al.*, 2007, Hernández et al., 2007, & Murgueitio *et al.*, 2009). La gran ventaja del sistema es la complementación de dos actividades que permiten un aumento patrimonial a largo plazo (forestación) y la disponibilidad de capital circulante (ganadería), es decir, los árboles constituyen la caja de ahorro y los animales la caja chica (Esquivel & Lacorte, 2010).

En cuanto al recurso suelo se encontró que los árboles y arbustos en general contribuyen a mejorar las características físicas del suelo, al incrementar la porosidad, permeabilidad, tamaño de agregados y estabilidad, y al disminuir la densidad aparente. También ayudan a mejorar los parámetros micro-climáticos del suelo pues incrementan la capacidad de retención hidráulica, aireación y disminución de la temperatura (Mahecha, 2002). En cuanto a la erosión, se genera una reducción general durante los cinco años de monitoreo con los sistemas silvopastoriles implementados.

El silvo pastoreo una alternativa de producción que disminuye el impacto ambiental de la ganadería bovina, generando algunos efectos sobre el recurso suelo (Mahecha, 2002) tales como:

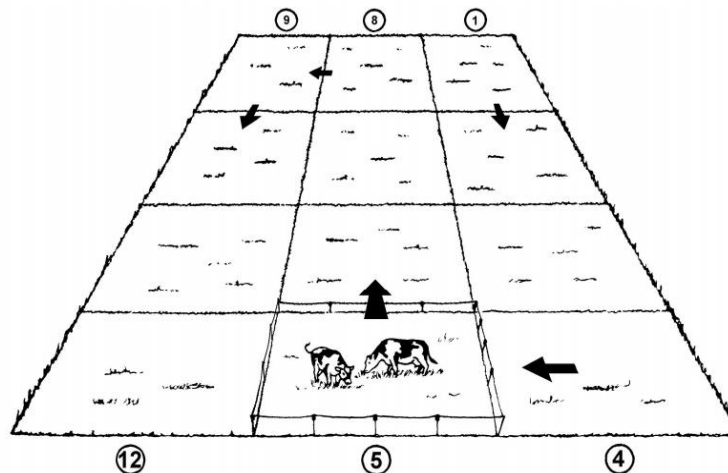
- ✓ Reciclaje de nutrientes: el manejo de gramíneas acompañado con árboles y/o arbustos, permite mayor deposición de materia orgánica, contribuye a modificar las características físicas del suelo como su estructura.
- ✓ Fijación de N: las leguminosas se asocian con bacterias del género *Rhizobium* para captar nitrógeno atmosférico haciéndolo disponible para las gramíneas en el suelo. En promedio se estima una fijación de 200 kg N/ha/año en el trópico.
- ✓ Profundidad de las raíces: El sistema radicular extendido y profundo de los árboles, aumenta el área disponible para captar agua y nutrientes.
- ✓ Acción de micro y macro fauna: La mayor presencia de materia orgánica en el suelo y el microclima (humedad y temperatura) creado por la presencia de árboles, favorece la actividad biológica de la micro y macro fauna, lo cual resulta en una mayor mineralización y disponibilidad de N en el suelo. Además, la materia orgánica que es incorporada paulatinamente al suelo por la acción de la endofauna, contribuye a mejorar la estabilidad del suelo y la capacidad de infiltración de agua.
- ✓ Control de erosión: los árboles en sistemas silvopastoriles cumplen funciones ecológicas de protección del suelo disminuyendo los efectos directos del sol, el agua y el viento. Ruiz & JZ-Janica (2012), demostraron que en suelos descubiertos o con monocultivos de gramíneas, la pérdida de suelo es mayor que en los bosques.

❖ **Sistema pastoreo rotativo y en franjas.** Los sistemas rotativos son aquellos que luego del pastoreo permiten a la pastura descansar por un periodo de tiempo lo suficientemente largo como para que las plantas recuperen sus reservas y puedan volver a rebrotar (Smetham 1981, Voisin 1963, Lecomte 1968, Carambula, & Hodgson 1990).

De acuerdo con Norton (1998), existen diferentes variantes de pastoreo rotativo que pueden ser clasificadas según el número de parcelas involucradas y la velocidad de rotación (6), lo cual ha llevado a un gran número de denominaciones como por ejemplo pastoreo rotativo, controlado, racional, racionado, intensivo, en franjas, etc.

Este método consiste en subdividir la pradera en diferentes porciones, permanentes o temporales, de manera que el pastoreo pueda realizarse en forma parcializada y secuencial (Figura 1). Así, cada porción o potrerillo dispondrá de un tiempo de utilización o pastoreo, seguido por un tiempo de descanso para permitir la recuperación de la pradera entre dos pastoreos sucesivos.

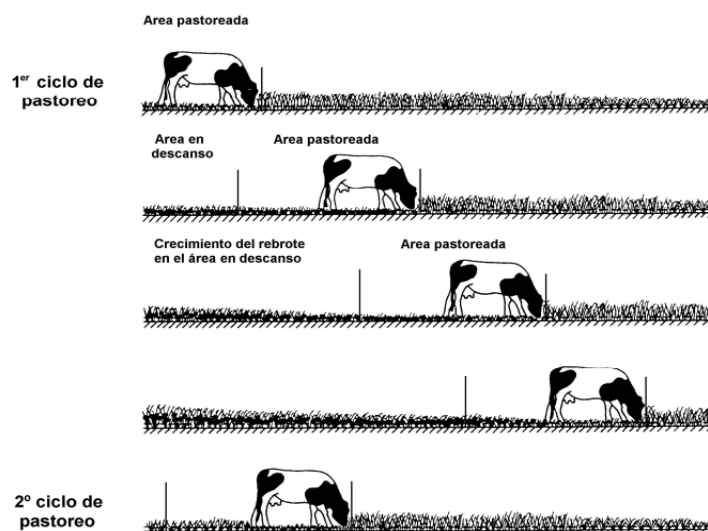
Figura 1. Pradera dividida en 12 potrerillos, para un pastoreo rotativo en invierno con 44 días de descanso y 4 días de utilización de cada potrerillo.



Las flechas indican la dirección en que avanza el pastoreo (Norton, 1998).

❖ **Pastoreo en franjas.** El movimiento de las vacas lecheras dos veces al día para su ordeña, facilita el pastoreo en franjas diarias o de medio día. Esto consiste en asignar una nueva superficie de pradera cada día, o incluso después de cada ordeña, mediante el uso de cerco eléctrico móvil con una hebra electrificada adelante, e idealmente, otra detrás de los animales (Figura 2).

Figura 2. Pastoreo en franjas con cerco eléctrico móvil adelante y atrás de las vacas para separar el área de pastoreo del área en descanso.



Fuente. (Norton, 1998)

Aunque el pastoreo en franjas demanda más mano de obra que el rotativo tradicional con potreros fijos, se justifica plenamente en los períodos de mayor producción de forraje, como primavera y otoño, y cuando se debe pastorear pastos altos o encañados. La principal ventaja es que restringe el paseo de los animales buscando y seleccionando su alimento por el área no pastoreada, con lo que se reduce el gasto de energía de las vacas y las pérdidas por rechazo del forraje pisoteado, aplastado y bosteado. Si el avance del pastoreo se hace una vez al día, es recomendable que durante la primavera y hasta el otoño éste se realice en la tarde, después de la segunda ordeña. Por una parte, a esa hora la pradera es más nutritiva y balanceada que temprano en la mañana. Por otra, coincide con que el pastoreo de la tarde suele ser el más intenso de la jornada, posibilitando así un mayor consumo de nutrientes (Parga & Nolberto, s.f).

5.2.4 Importancia mundial del sector ganadero. Este sector representa el 40 % del producto interno bruto (PIB) agrícola, genera empleo para mil trescientos millones de personas y medios de subsistencia para mil millones de pobres en todo el mundo. Los productos de la ganadería suministran un tercio del consumo mundial de proteínas y de la misma manera que contribuyen a la obesidad son una posible solución a la desnutrición (Steinfeld, 2009).

El crecimiento demográfico y el aumento de los ingresos, así como la transformación de las preferencias alimentarias, están estimulando un acelerado incremento de la demanda de productos pecuarios, a la vez que la globalización impulsa el comercio de insumos y productos. Se prevé que la producción mundial de carne se incrementará en más del doble, pasando de 229 millones de toneladas en 1999 a

465 millones de toneladas en 2050, y que la producción de leche crecerá de 580 a 1.043 millones de toneladas. El impacto ambiental por unidad de producción ganadera ha de reducirse a la mitad si se quiere evitar que el nivel de los daños actuales se incremente (Steinfeld, 2009).

5.2.5 El sobrepastoreo en Colombia. Según Mahecha *et al.*, (2002), la ganadería en Colombia se ha desarrollado de manera extensiva, destinándose grandes terrenos, con bajos niveles de inversión y manejo inadecuado de praderas, lo cual ha provocado un deterioro ambiental de los ecosistemas y un impacto negativo en los sectores socioeconómicos del país.

Dichas pasturas, caracterizadas por una baja o nula diversidad vegetal y por la implementación de inadecuadas prácticas de manejo como el sobrepastoreo del ganado, la quema y la mecanización han causado una pérdida de calidad de los suelos, reduciendo los indicadores productivos, la biodiversidad e incrementando la necesidad de insumos químicos externos (fertilizantes y plaguicidas). Por lo tanto, se hace necesario frenar la degradación edáfica y la pérdida de la biodiversidad en sistemas ganaderos, este reto implica cambios en las políticas estatales y un compromiso por parte de los productores, quienes deben ser los más implicados con la recuperación de su entorno para garantizar la sostenibilidad del sistema productivo (Nair *et al.*, 1995).

5.3 MARCO LEGAL.

El trabajo de investigación se encuentra basado en una serie de ideas y conceptos constitucionales y legales, los que se resumen a continuación:

5.3.1 Según la Constitución Política Nacional de Colombia (1991).

- **Artículo 79.** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
- **Artículo 80.** El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados, así mismo cooperará con otras naciones en la protección.

5.3.2 Del Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente Decreto 2811 de 1974, de la parte VII de la tierra y los suelos, título I del suelo agrícola.

- **Capítulo I. Principios generales.**

Artículo 178. Los suelos del territorio nacional deberán usarse de acuerdo a sus condiciones y factores constitutivos. Se determinará el uso potencial de los suelos según los factores físicos, ecológicos y socioeconómicos de la región. Según dichos factores también se clasificarán los suelos.

Artículo 179. El aprovechamiento de los suelos deberá efectuarse en forma de mantener su integridad física y su capacidad productora. En la utilización de los suelos se aplicarán normas técnicas de manejo para evitar su pérdida o degradación, lograr su recuperación y asegurar su conservación.

Artículo 180. Es deber de todos los habitantes de la República colaborar con las autoridades en la conservación y en el manejo adecuado de los suelos. Las personas que realicen actividades agrícolas, pecuarias, forestales o de infraestructura, que afecten o puedan afectar los suelos, están obligadas a llevar a cabo las prácticas de conservación y recuperación que se determinen de acuerdo con las características regionales.

- **Capítulo III. Del uso y conservación de los suelos.**

Artículo 182. Estarán sujetos a adecuación y restauración los suelos que se encuentren en alguna de las siguientes circunstancias:

- a) Inexplotación si, en especiales condiciones de manejo, se pueden poner en utilización económica.
- b) Aplicación inadecuada que interfiera la estabilidad del ambiente.
- c) Sujeción a limitaciones físico - químicas o biológicas que afecten la productividad del suelo.
- d) Explotación inadecuada. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, 2014).

5.3.3 Sistema General Ambiental Ley 99 de 1993.

- **Artículo 3.** Establece el concepto de Desarrollo sostenible entendido como “El que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se

sustenta ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS, 1993).

5.4 MARCO CONTEXTUAL.

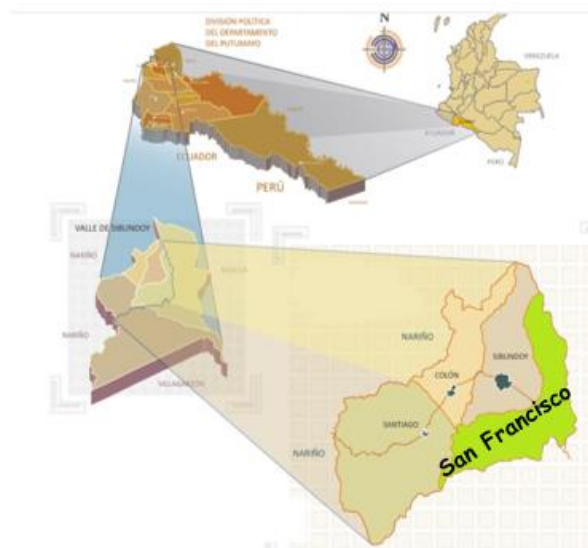
5.4.1 Departamento del Putumayo. Está localizado al sur de Colombia, entre los 0°40' de latitud sur y 1° 25' de latitud norte y entre los 73° 50' y 77° 10' al oeste de Greenwich. Su extensión es de 25.282 kilómetros cuadrados, o sea el 2.26% de la superficie total del país. Limita al norte con el departamento del Cauca, al este limita con los departamentos del Caquetá y Amazonas, al sur limita con las Repúblicas del Ecuador y Perú y al oriente limita con el departamento de Nariño. El territorio se extiende de occidente a oriente desde el pie de la cordillera oriental hasta la llanura amazónica, entre los ríos San Miguel y Putumayo al sur, el Cascabel al norte y el Caquetá al oriente (Ramírez & Pinzón , 1987).

5.4.2 Subregión Andino-Amazónica o Valle de Sibundoy. Región noroccidental del departamento, conformada por los municipios de Colón, Santiago, Sibundoy y San Francisco, con una superficie total estimada de 960 km²; 3,76% del total territorial departamental; concentra el 11,2% de la población del departamento; distribuida en un 54,8% a nivel rural; su dinámica económica gira en torno a la producción agropecuaria, especialmente dirigida a la ganadería de leche y el cultivo del frijol. El desarrollo integrado de los cuatro municipios que la conforman es evidente; éstos comparten identidades culturales, sociales, parentescos familiares, económicos y políticos (Ramírez & Pinzón , 1987).

El Valle de Sibundoy presenta una precipitación promedia multianual de 1.578 mm, con temperaturas que oscilan entre 15°C – 17°C y una altitud entre 2000- 2100 m.s.n.m. (Ramírez & Pinzón , 1987).

5.4.3 Municipio de San Francisco. Está localizado a una altura de 2.100 m.s.n.m., se enmarca dentro de las coordenadas 1° 00' 21", 1° 22' 42" de latitud norte y 76° 43' 46" 76° 59' 18" de longitud Oeste. Su relieve es bastante ondulado y quebrado. La temperatura promedio es de alrededor de los 16.2 °C, lo que junto con una precipitación anual de cerca de 1578 mm, genera una humedad atmosférica constante y relativamente alta, superior al 83 %. Cuenta con un área de 432 Km² que corresponde al 0.57% del área total que tiene el Departamento del Putumayo (Esquema de Ordenamiento Territorial municipio de San Francisco. EOT, 2010).

Figura 3. Ubicación geográfica del municipio de San Francisco en el departamento del Putumayo, Colombia.



Fuente. (Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Alta del río Putumayo POMCA, 2010).

5.5 MARCO CONCEPTUAL.

5.5.1 Compactación. Es uno de los procesos de degradación física más común en suelos agrícolas altamente productivos y una de las causas de la reducción de la productividad. Bajo esta perspectiva, se justifica el desarrollo de metodologías que permitan estimar los riesgos de compactación de los suelos, para así prevenir o mitigar sus efectos adversos (Williams & Reyes, 2010).

5.5.2 Degradación del suelo. Cambio de una o más de sus propiedades a condiciones inferiores a las originales, por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos. En términos generales la degradación del suelo provoca alteraciones en el nivel de fertilidad del suelo y consecuentemente en su capacidad de sostener una agricultura productiva (Prado & Veiga, s.f).

5.5.3 Degradación por la lluvia. Acción generalizada, si el suelo está sin cobertura; pero la desagregación por el escurrimiento es una acción dirigida que actúa sobre porciones de terreno en el cual éste se concentra con velocidades erosivas (Yapur, 2010).

5.5.4 Erosión. Es un proceso de desgaste que ocurre naturalmente y depende de las características climáticas, la naturaleza del suelo, la topografía y la vegetación. El fenómeno de erosión se presenta como un proceso de degradación, transporte y

deposición de las partículas de la masa de suelo. De este modo se determina que el proceso erosivo tiene tres fases principales, el desprendimiento de las partículas individuales del suelo, su transporte, llevados a cabo por los agentes erosivos. Cuando la energía de estos agentes no es suficiente se produce la tercera fase del proceso que es la sedimentación (Hernandez , 2011).

5.5.5 Erosión en cárcavas. Las cárcavas son canales profundos y de paredes empinadas que se encuentran en zonas con pendientes irregulares y con subsuelos profundos y frágiles. Son generalmente de carácter permanente. Evolucionan a partir de la combinación entre pequeños regueros hasta alcanzar un desarrollo donde ya no puedan ser eliminadas con las operaciones normales de labranza agrícola (Kirkby & Morgan, 1984).

5.5.6 Erosión en surcos. El flujo laminar sobre la superficie del suelo ocurre principalmente cuando la superficie es lisa y de pendiente uniforme; sin embargo en los cultivos esto no se da, ya que las superficies presentan depresiones, elevaciones, o irregularidades que concentran los flujos de agua en corrientes con capacidad erosiva en función de la velocidad del agua. El desprendimiento y transporte de partículas son mayores en ésta que en la laminar (Suárez, 1980).

5.4.7. Erosión en terracetos. Es causada por el ganado vacuno que camina en terrenos de ladera. Cuando el ganado es apacentado en estos terrenos, camina en forma intuitiva, siguiendo curvas de nivel. El paso continuo del ganado, sumado a su peso ejercido en el área de desplazamiento por las pezuñas, produce una compactación y genera un modelo erosivo en forma trapezoidal invertida, de diversos tamaños (Núñez, 2001).

5.4.8. Erosión hídrica. Es uno de los procesos de degradación más importantes, que afectan la capacidad de las tierras en pendiente, para la producción de alimentos, para el consumo humano o animal; además, la presencia de las plantas y las primeras capas del suelo son imprescindibles para que el agua de las precipitaciones se infiltre, por lo que el aumento en la erosión significa siempre una disminución en la recarga de los acuíferos (Rivera *et al.*, 2005).

5.4.9. Erosión laminar. Es el arrastre de partículas de suelo suspendidas en el agua de lluvia, que se desplaza en sentido de la pendiente. El traslado de las partículas del suelo puede ocurrir en forma difusa o uniforme. Cuando ocurre en forma difusa, se considera como un tipo de erosión poco perceptible. Sin embargo, una inspección cuidadosa en el campo, revela que los residuos de cosecha se encuentran orientados en el sentido de escurrimiento del agua de lluvia, o en el sentido de la pendiente, si los terrenos están situados en áreas de laderas. Además, las pequeñas raíces absorbentes de plantas agrícolas, arbustos y árboles quedan expuestas en la superficie del suelo (Núñez, 2001).

5.4.10. Erosión por escurrimiento. Cuando el agua de lluvia no alcanza a infiltrarse en el suelo, debido a su saturación, pendiente elevada o poca capacidad de infiltración, fluye por la superficie de terrenos pendientes arrastrando el suelo desprendido (Prieto, 2004).

5.4.11. Ganadería extensiva. El sistema de pastoreo extensivo tradicional se caracteriza por la incorporación de prácticas culturales de manejo, tanto de la pradera como de los animales, dirigidas a preservar y, a veces, potenciar las capacidades productivas del agro ecosistema ganadero; la base fundamental de la producción es la pradera natural o introducida de baja productividad (Arias H. , 1990).

5.4.12. Pendiente. Inclinación con respecto a la horizontal que pasa por su base. Se expresa como un gradiente calculado en grados sexagesimales, centesimales o porcentaje y en términos trigonométricos corresponde a la tangente del ángulo formado entre declive y su correspondiente horizontal (Zuñiga, 2010).

5.4.13. Remoción en masa. La remoción en masa, es el desplazamiento de grandes volúmenes de material superficial ladera abajo (a favor de la pendiente) por acción directa de la fuerza de la gravedad, hasta volver a encontrar un nuevo punto de reposo. Normalmente este terreno, en su parte superficial, presenta rocas fragmentadas por acción de la meteorización física, química o biológica, sola o combinada, así como también puede presentar un estrato superficial de suelo grueso o delgado con o sin vegetación (Cortez , 2010).

5.4.14. Sellado y encostramiento del suelo. La rotura y dispersión de las partículas por efecto de las gotas de agua en el suelo es la causa principal del proceso de sellado superficial al igual que el proceso de encostramiento superficial que resulta de la degradación de la estructura y al rápido secado de un suelo húmedo. Tanto el sellado como el encostramiento disminuyen la porosidad y por tanto favorecen la escorrentía superficial aportando a la erosión del suelo afirma (Almorox, Lòpez, & Rafaelli, 2010).

5.4.15. Sistemas de producción ganaderos. Los sistemas de producción ganaderos tienen como propósito producir satisfactores sociales que puedan mantenerse a largo plazo mediante la conservación de las fuentes que proporcionen los recursos primarios de la producción agrícola o ganadera, sin dejar de lado los factores sociales, económicos y “tecnológicos” (Sevilla et al., 1999).

5.4.16. Sobrepastoreo. Excesiva carga animal, pisoteo, introducción inadecuada de ganado. Cuando el número de animales excede la capacidad límite del suelo (biomasa máxima de herbívoros que puede alimentar por metro cuadrado), se rompe el equilibrio dinámico entre ganado y tierra, la cubierta vegetal del suelo se empobrece ostensiblemente y se desencadenan los procesos erosivos. (Alianza para la Seguridad y la Prosperidad de América del Norte ASPAN, 2003).

5.4.17 Suelo. Es un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera que está encima y con los estratos que están debajo, que influye el clima y el ciclo hidrológico del planeta y que sirve como medio de crecimiento para una variada comunidad de organismos vivos. Además, él juega un papel ambiental preponderante como reactor bio-físico-químico que descompone materiales de desecho y recicla dentro de él nutrientes para la regeneración continua de la vida en la Tierra. (Jaramillo D. , 2002).

6. METODOLOGÍA.

La metodología utilizada para el desarrollo de la investigación denominada “EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS DE MANEJO GANADERO EN LOS PROCESOS EROSIVOS Y EL CAMBIO DE ALGUNAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS EN SUELOS UBICADOS EN TRES TIPOS DE PENDIENTES DEL MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO PUTUMAYO”. Abarca los siguientes aspectos:

6.1. LOCALIZACIÓN.

La investigación se realizó en el municipio de San Francisco, con coordenadas geográficas N 1° 00' 21", 1° 22' 42" – W 76° 43' 46" 76° 59' 18", de acuerdo con el Esquema de Ordenamiento Territorial municipio de San Francisco EOT (2010), se encuentra a una altura entre 2100 hasta 2.300 m.s.n.m. en zona plana y desde los 2300 a 3900 m.s.n.m. en zonas de montaña; una temperatura promedio alrededor de los 16.2 °C, precipitación anual 1578 mm, humedad relativa alta, superior al 83%, cuenta con un área de 432 Km² que corresponde al 0.57% del área total que tiene el departamento del Putumayo. La zona que incluye el área de investigación corresponde a la vereda San Miguel e Inspección San Antonio, ubicadas a una altura de., 2441 m.s.n.m., y 2110 m.s.n.m. respectivamente.

6.2 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Realizada la investigación fue importante conocer la tendencia en el manejo de los sistemas que realizan los ganaderos, para lo cual se diseñó una encuesta (Anexo 1) con una muestra representativa de los sitios evaluados en la investigación.

Una vez aplicada la encuesta (Fase A), los resultados obtenidos permitió determinar los siguientes aspectos:

- Determinar el tiempo de manejo del sistema, la capacidad de carga y el tipo de manejo ganadero (extensivo, intensivo, control de cerca eléctrica, silvo pastoril, entre otros) de las zonas de estudio.
- Establecer las unidades experimentales en donde se realizaron los diferentes muestreos correspondientes a las propiedades físicas y químicas del suelo a diferentes pendientes, del mismo modo se determinó el área de muestreo de cada una de las unidades experimentales.

6.3 DISEÑO EXPERIMENTAL.

Las unidades experimentales presentaron uniformidad con en el manejo ganadero, determinándose en tres pendientes diferentes, para la zona alta mayor de 45%, zona media entre 8% a 45% y zona plana entre 0 a 8%.

Para el establecimiento de la investigación, se tuvo en cuenta tres tratamientos (pendientes), tres sub tratamientos (manejos) con tres repeticiones, para un total de 27 unidades experimentales (27 lotes), de tamaño más representativo que correspondió a 1 hectárea según los resultados obtenidos de la encuesta.

En la presente investigación, los tratamientos fueron los siguientes:

- T1.** Zona alta, con pendientes mayores de 45%
- T2.** Zona media, con pendientes entre 8% a 45%
- T3.** Zona plana, con pendientes entre 0% a 8%

Los datos que se presentan en esta fase corresponden a la evaluación de campo laboratorio y análisis estadístico de la zona plana de estudio.

Los sub tratamientos fueron los siguientes:

- S1.** Bosque secundario.
- S2.** Sistema ganadero intensivo.
- S3.** Sistema de manejo de ganado en franjas con cercas eléctricas.

Cada uno de los sub tratamientos se evaluó con tres repeticiones en cada pendiente.

3 tratamientos x 3 Sub tratamientos x 3 Repeticiones = 27 Unidades experimentales.

Una vez establecidos los tratamientos se procedió a la recolección de muestras en campo.

Figura 4. Sistemas de estudio en zona plana, media y alta para la evaluación del efecto de la ganadería en la Vereda San Antonio y San Miguel, Municipio de San Francisco, Putumayo.

ZONA ALTA



a. Sistema bosque (S1)



b. Sistema de Ganadería convencional(S2)



c. Sistema de ganadería con franjeo (S3)

ZONA MEDIA



a. Sistema bosque (S1)



b. Sistema de Ganadería convencional(S2)

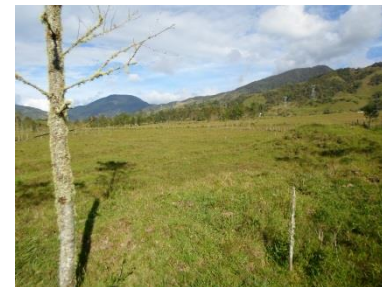


c. Sistema de ganadería con franjeo (S3)

ZONA PLANA



a. Sistema bosque (S1)



b. Sistema de Ganadería convencional(S2)



c. Sistema de ganadería con franjeo (S3)

6.4 MUESTREO.

Para establecer el efecto de la actividad ganadera en dos sistemas de manejo por franjeo o cerca eléctrica e intensiva y un sistema comparativo bosques secundarios, se evaluó las propiedades físicas y químicas de los suelos de las unidades experimentales que corresponden en el estudio de la zona plana en el municipio de San Francisco.

6.4.1 Determinación de algunas propiedades físicas y químicas con relación a la pendiente y al tipo de manejo en sistemas ganaderos.

Para evaluarlas se usaron indicadores sensibles de la siguiente manera:

- ❖ **Propiedades físicas.** Conductividad hidráulica (cm/h), densidad aparente (g/cc), densidad real (g/cc), porosidad total (%), estabilidad estructural en seco (Shaker), textura al tacto, resistencia a la penetración, humedad gravimétrica g (%), humedad volumétrica (%).
- ❖ **Propiedades químicas.** pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC), elementos mayores nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), materia orgánica, bases intercambiables Ca, Mg, K y relación de bases intercambiables.

Las variables evaluadas y su respectiva metodología de determinación se realizaron en el laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo (ITP), sede Sibundoy y la Universidad de Nariño para las químicas. Los métodos implementados para evaluar las propiedades físicas y para la correspondiente caracterización se detallan de acuerdo con la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físicas y método de determinación.

PROPIEDAD	MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN
Densidad real (g/cc)	Picnómetro
Porosidad (%)	$1 - (\text{Densidad aparente} / \text{Densidad real}) \times 100$
Densidad aparente (g/cc)	Cilindro de volumen conocido
Resistencia a la penetración	Penetrógrafo
Estabilidad de agregados (Seco)	Shaker
Conductibilidad hidráulica (cm/hora)	Permeámetro de carga constante
Textura	Tacto
Humedad gravimétrica (%)	Diferencia de peso
Humedad volumétrica (%)	Diferencia en volumen

De igual manera se evaluó variables químicas, la metodología usada para el correspondiente análisis se detallan de acuerdo con la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades químicas y método de determinación.

PROPIEDAD	MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN
pH	Potenciómetro
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Acetato de amonio 1N pH 7
Materia orgánica	Walkley y Black colorimétrico
Acidez intercambiable	Cloruro de potasio 1 M
Nitrógeno - total	Con base a la materia orgánica
Fósforo - disponible	Bray II y Kurtz
Aluminio de cambio	Cloruro de potasio 1 M
Bases intercambiables (Ca, Mg y K)	Acetato de amonio 1N pH 7

6.4.2 Metodología de campo (recolección de muestras físicas y químicas).

Toma de muestras para propiedades físicas.

Para la determinación de algunas propiedades físicas, fue necesario en primer lugar realizar una limpieza manual en la zona a muestrear, con el fin de retirar la cubierta vegetal para así proceder a realizar tres cajuelas con dimensiones de 40 cm x 40 cm x 30 cm de profundidad, teniendo en cuenta que en cada una de ellas se tomó muestras a dos profundidades de 0 a 15 cm y de 15 a 30 cm; esto en cada uno de los lotes. Estas muestras sin disturbar fueron tomadas con anillos de acero biselado con la ayuda de un muestreador, teniendo en cuenta que el anillo debe ir puesto con el bisel hacia abajo.

Una vez obtenida la muestra, se procedió a retirarla con una pala para ser limpiada con un bisturí finalmente empacado en bolsas herméticas, con el fin de conservar sus características (Figura 5).

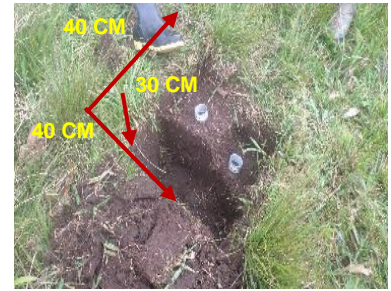
Figura 5. Toma de muestras sin disturbar con anillo biselado para propiedades físicas



a. Limpieza de la zona a muestrear.



b. Realización de calicata en el predio.



c. Medidas de muestreo.



a. Toma de muestra con anillo biselado.



b. Retiro de muestra



c. Empacado y rotulado

Por otro lado, algunas propiedades físicas se toman disturbada mente las cueles fueron utilizadas para la evaluación de densidad real, textura, estabilidad estructural; se tomaron en la misma cajuela y a las mismas profundidades, utilizando un machete para cortar una porción de suelo, se empacaron en las bolsas transparentes y se rotula cada una de las muestras teniendo en cuenta el tipo de sistema empleado, el numero destinado a la finca, numero de cajuela y profundidad a la que se extrajo la muestra. Esto también son procesos repetitivos y similares para las 3 cajuelas a muestrear 27 fincas por cada tratamiento (Figura 6).

Figura 6. Toma de muestras disturbadas para análisis de propiedades físicas.



a. Toma de muestra disturbada.

b. Retiro de muestra

c. Empacado y rotulado

Evaluación de la resistencia del suelo a la penetración.

Esta propiedad se determinó en campo con la ayuda de un penetraógrafo, el cual grafica en una banda de papel la resistencia que el suelo presenta a diferentes profundidades. En cada una de las unidades experimentales se realizaron cuatro puntos. Cabe resaltar que para obtener mayor precisión en el manejo de este equipo, se colocó a cargo para su utilización a un solo integrante del grupo (Figura 7).

Figura 7. Medición de la resistencia a la penetración usando el penetraógrafo.



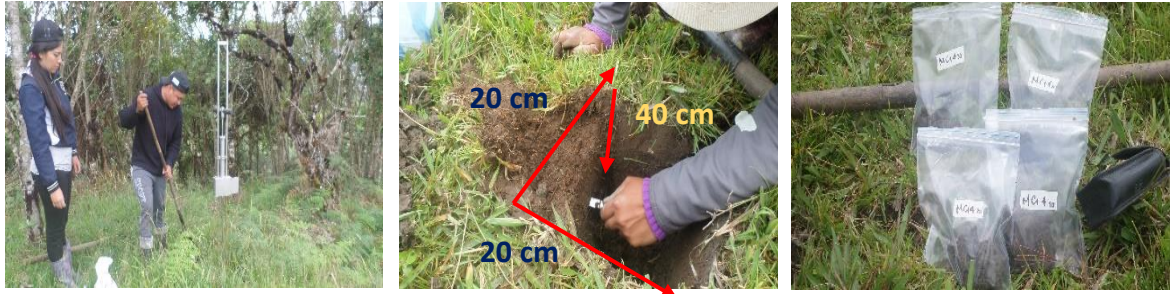
a. Medición de resistencia a la penetración.

b. Ubicación de la banda desde el punto cero.

c. Retiro de la banda graficada.

Además se realizó en los mismos puntos una cajuela de 20cm x 20cm x 40cm de profundidad, en donde se extrajo cuatro muestras con profundidades de 0 a 10cm, 10 a 20cm, 20 a 30cm y de 30 a 40cm, con las cuales se determinó humedad gravimétrica que presenta el suelo, las cuales fueron posteriormente empacadas en bolsas herméticas para conservar su humedad y almacenadas temporalmente en un termo, para ser transportadas al laboratorio (Figura 8).

Figura 8. Toma de muestras para humedad gravimétrica.



a. Realización de calicata para toma de muestras.

b. Toma de muestras a diferentes profundidades.

c. Empacado y rotulado de muestras.

Toma de muestras para propiedades químicas.

Para la determinación de las propiedades químicas, se realizó en corte en “V” a una profundidad de 30 cm en relación con la superficie del suelo, por ser ésta la profundidad donde los pastos tienen su mayor desarrollo radicular. En cada unidad experimental se tomaron en forma de zig – zag 10 sub muestras de suelo, con el fin de obtener una muestra homogénea de 1000 g (Figura 9).

Figura 9. Toma de muestras disturbadas para propiedades químicas.



a. Toma de muestras y corte en V

b. toma de muestra necesaria

c. corte de muestra



a. Sub muestra necesaria para análisis químico.

b. Homogenización de muestras

c. Empacado de muestras denominación de muestras

6.4.3 Metodología de laboratorio.

Posteriormente realizado el trabajo en campo, las muestras obtenidas se llevaron a laboratorio para su respectivo análisis.

Adecuación de muestras.

Las muestras disturbadas obtenidas, debidamente rotuladas, se esparcieron en papel periódico cada una identificada con los datos de cada sistema, número de cajuela y profundidad de muestreo con el fin de secar a temperatura ambiente. En cuanto a las muestras sin disturbar, estas fueron dispuestas en el laboratorio del Instituto Tecnológico del Putumayo (Figura10).

Figura 10. Realización de cajuelas e identificación de muestras.



a. Realización de Bandejas de secado

b. Retiro de piedras y raíces

c. Identificación de muestras.

Proceso para evaluación de propiedades químicas.

Una vez secas las muestras correspondientes a cada sistema de manejo (sistema convencional, sistema en franjas con cerca eléctrica y bosque secundario) se pasaron por un tamiz número 10 (2mm) para posteriormente ser empacadas,

rotuladas y enviadas al laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño. Cada muestra con una cantidad de 1000 g (Figura 11).

Figura 11. Empacado y rotulación de muestras para análisis químico.



a. Secado a ambiente y tamizado de muestras



b. Peso de muestra rotulada



c. Muestras para análisis químicas en laboratorio.

Proceso para evaluación de propiedades físicas

Conductividad Hidráulica (K).

Para la evaluación de esta propiedad se utilizó un permeámetro de carga constante.

Procedimiento:

En una bandeja se depositaron las muestras tomadas con anillos biselados con el bisel puesto hacia abajo, puesto que así fueron tomadas las muestras; se les agregó agua hasta cubrirlos completamente por un tiempo de 24 horas para llegar a su estado de saturación (Figura 12).

Figura 12. Saturación de muestras y cortes de exceso de suelo.



a. ubicación de anillos con bisel poca abajo.



b. saturación de muestras por 24 horas.



c. Anillos en estado de saturación.

Pasada las 24 horas, se adecuaron estas muestras cortando perfectamente los excesos de suelo y raíces que sobresalían de las paredes del anillo. Posteriormente los anillos con suelo fueron puestos en los tubos de PVC del permeámetro, teniendo en cuenta que el bisel debe ir hacia abajo (figura13).

Figura 13. Montaje en el permeámetro.



a. corte de excesos de suelo.

b. montaje de Muestras para en tubos de PVC.

c. Permeatro de carga constante.

La medición se llevó a cabo cada 5 minutos durante 40 minutos y trascurrido este tiempo cada 10 minutos, las lecturas deben hacerse hasta que cada anillo se obtenga tres lecturas constantes por lo que se procede a cerrar la llave. El tiempo de medición de esta propiedad el máximo 3 horas, a cabo del cual si por algún motivo en algún anillo no desciende el agua se cierra totalmente la llave del equipo.

Densidad Aparente D_a (g/cm^3).

Para la determinación de esta propiedad, se utilizó el método de anillo con volumen conocido utilizando las mismas muestras de suelo de los anillos usados en la conductividad hidráulica.

Procedimiento.

- Se pesó el suelo húmedo más el anillo en una balanza y se lo llevo al horno a una temperatura de 105^{+0}°C durante 24 horas.
- Trascurridas las 24 horas se extrajo la muestra del horno para obtener el peso del suelo seco más anillo con ayuda de una balanza.
- Luego se retiró el suelo del anillo para ser pesado sin este.
- Adicionalmente se midió el diámetro y altura del anillo con un pie de rey.
- Con esto datos se determinó densidad aparente (g/cc), humedad gravimétrica (%) y humedad volumétrica (%), (Figura 14).

Figura 14. Determinación de densidad aparente en laboratorio.



a. Peso de la muestra de suelo húmedo.

b. muestras llevadas al horno a una temperatura de 105°C .

c. Peso del suelo seco transcurridas 24 horas.

Densidad Real Dr. (g/cm^3).

Para determinar el valor de densidad real, se utilizó el método del picnómetro.

Procedimiento.

Se utilizaron las muestras pertenecientes a las profundidades de 0-15cm y de 15-30 cm, que fueron secadas a temperatura ambiente.

Se pasó el suelo por un tamiz Numero 10, del cual se pesó aproximadamente 4 g de suelo quedando como residuo los agregados del mismo, y se posteriormente se llevó a horno por 24 horas a una temperatura de 105°C (Figura15).

Figura 15. Determinación de la densidad real en laboratorio.



a. suelo pasado por tamiz Numero 10.

b. Peso de 4g de suelo

c. Secado al horno a 105°C por 24 horas.

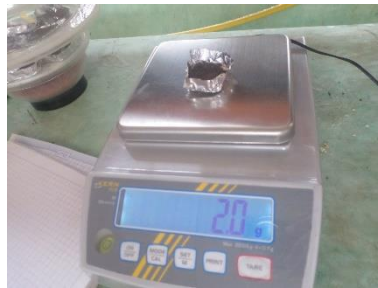
Trascurridas las 24 horas se extrajo las muestras en un desecador con el fin de mantener su humedad e ir pesando en una balanza 2g de suelo pertenecientes a cada una de ellas.

Se pesaron los picnómetros una sola vez para todo el procedimiento (Figura16).

Figura 16. Peso del suelo seco y peso picnómetro.



a. suelo puesto en desecador.



b. Peso de 2g de suelo.



c. peso del picnómetro vacío.

A cada picnómetro se le adiciono 2g de suelo y se procedió nuevamente a pesarlos.

Luego se agrega a cada de uno de ellos hasta la tercera parte de agua tibia destilada de tal forma que se pueda manipular (Figura17).

Figura 17. Adición de suelo seco y agua al picnómetro.



a. Adición de suelo a picnómetro



b. Peso de 2g de suelo más picnómetro.



c. Agregación de agua destilada.

Se procede a colocar cada picnómetro en la estufa con la muestra de suelo y agua por 3 minutos a partir de iniciar la ebullición con el objetivo de que salga el aire del suelo. Pasado los 3 minutos se deja reposar sobre una malla de asbesto por un tiempo de una hora (Figura18).

Figura 18. Suelo hervido por 3 minutos y reposo durante 1 hora.



a. Ubicación de picnómetro en la estufa para ebullición.

b. Ebullición de picnómetro durante 3 minutos.

c. Reposo de picnómetro sobre malla asbesto.

Transcurrido este tiempo se llena el picnómetro con agua, se tapa y se registra su peso. Al final se lava el picnómetro y se lo llena de agua para registrar su peso y realizar los respectivos cálculos (Figura 19).

Figura 19. Peso del picnómetro con suelo y agua hervidos.



a. Llenado de picnómetro con agua más suelo.

b. peso del picnómetro más suelo más agua

c. peso del picnómetro más agua final.

Este procedimiento se realizó para todas las muestras recolectadas en campo y se registran todos los datos anteriormente mencionados en una hoja de cálculo de Excel para su respectivo análisis.

Textura (%).

Para esta propiedad se usó las guías sugeridas por la Universidad Nacional de Ingeniería (Departamento de Ingeniería Agrícola), con las cuales se determinó con la metodología del tacto (Figura20).

Figura 20. Determinación de la textura al tacto en laboratorio



a. muestra de suelo considerable y humedecimiento.

b. Formación de anillo

c. Ruptura del anillo

Estabilidad estructural (%) en seco con el método de Shaker.

Procedimiento.

En primer lugar se elaboraron cajuelas con papel periódico, a las cuales se las enumeró junto con unas taras de aluminio de acuerdo de tamices (7) pertenecientes al equipo Shaker.

De las muestras secas a temperatura ambiente se pesó 150g.

En el equipo Shaker, se adiciono el suelo, se lo aseguró y se calibra un tiempo de 10min (Figura 21).

Figura 21. Evaluación de la estabilidad estructural del suelo



a. Elaboración de cajuelas con papel periódico.

b. Suelo seco a ambiente para prueba de Shaker

c. Peso 150 gr de suelo



a. Agregación de suelo a tamices.



b. aseguramiento del equipo.



c. calibración de tiempo 10 minutos.

Transcurrido este tiempo se retiró los tamices del equipo.

En las taras ya enumeradas de acuerdo al número de tamiz, se procedió a vaciar sobre ella la muestra que quedó en cada uno de los tamices.

Obtenido ya todas las muestras en la tara, se procede a pesar (Figura 22).

Figura 22. Peso del suelo tamizado en el equipo Shaker.



a. Separación de suelo tamizado.



b. Agregación de suelo tamizado a la tara.



c. peso de cada muestra tamizado.

Esto se realizó para toda la totalidad de muestras.

Humedad gravimétrica (%).

Para la determinación de esta propiedad se utilizaron las muestras tomadas en los cuatro puntos en cada unidad experimental.

Procedimiento:

Se identifica cada una de las taras (cajas de aluminio).

Se adiciona en cada caja de aluminio una cantidad de suelo aproximadamente de 10 g.

Peso nuevamente y llevo las muestras al horno a $105^{\pm 0}C$ por 24 horas.

Transcurrido este tiempo se pesó la muestra de suelo seco más la tara.

Los datos obtenidos se registraron en una hoja de cálculo con el fin de interpretarlos (Figura 23).

Figura 23. Determinación de la Humedad gravimétrica del suelo.



a. Identificación de cada una de las taras.



b. Peso de la tara más peso de suelo agregado.



c. Agregación de 10 gr de suelo más tara.



a. muestras al horno a 105^{+}°C por 24 horas



b. suelo seco puesto en disecador.



c. peso del suelo seco más la tara.

6.5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.

6.5.1. Análisis estadístico. Se realizó mediante un análisis de multivariado Système Portable pour l'Analyse de Données (SPAD V5.6), el cual permite implementar una estrategia de análisis adecuada al tratamiento exploratorio multivariante de grandes tablas de datos. Su concepción es original y adaptada para un proceso natural de aprendizaje a partir de los datos. Estas técnicas son de gran utilidad para tomar decisiones, porque permiten confrontar numerosas informaciones de modo que resultan ser una estrategia analítica mucho más rica que mediante análisis separado. De este modo, permiten extraer cuáles son las tendencias más destacadas, jerarquizarlas y, a su vez, eliminar los efectos marginales que perturben la percepción global de los hechos recogidos en los datos.

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

7.1. FASE B y COMPARACIÓN CON LA FASE A (ZONA ALTA, MEDIA Y PLANA).

7.1.1. Localización de unidades experimentales de la zona alta, media y plana.

Con el fin de establecer una las zonas de estudio, para evaluar el efecto de la ganadería en la parte plana, media y alta con pendientes entre 0% - 8%, 8% - 45% y >45% respectivamente, se seleccionaron 27 unidades experimentales (fincas) en la Inspección de San Antonio ubicado a 7 km y la vereda San Miguel ubicada a 1 km de la cabecera municipal de San Francisco, a continuación se presenta un listado con la identificación de los propietarios de los predios, la respectiva ubicación geográfica y el tipo de sistema de manejo con el cual se evaluó el efecto de la ganadería sobre el recurso suelo.

Localización de unidades experimentales zona alta

Tabla 3. Identificación de las unidades experimentales de la zona alta con relación al propietario del predio.

#	DATOS GEOGRÁFICOS			IDENTIFICACIÓN DEL PROPIETARIO	SISTEMA DE MANEJO DEL PREDIO QUE SE DIO A EVALUAR
	Finca	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m.)	Nombre y Apellido	
1	San Miguel	N 01°09'34.3" W 76°52'33.4"	2410	Jesús García	S1. Bosque secundario, ubicado en las tres pendientes evaluadas.
2	San Miguel	N 01°09'34.3" W 76°52'29.5"	2447	Jesús García	
3	San Miguel	N 01°09'38.8" W 76°52'28.6"	2462	Jesús García	
4	San Miguel	N 01°09'48.2" W 76°52'40.8"	2269	Luis Botina	S2. Sistemas de ganadería intensiva (convencional).
5	San Miguel	N 01°09'51.9" W 76°52'43.8"	2198	Antonio Navarro	
6	San Miguel	N 01°09'41.2" W 76°52'39.7"	2331	Jesús García	
7	San Miguel	N 01°09'45.3" W 76°52'41.4"	2297	Luis Botina	S3. Sistema de manejo de ganado en franjas con cercas eléctricas.
8	San Miguel	N 01°09'42.9" W 76°52'45.6"	2293	Luis Botina	
9	San Miguel	N 01°09'42.8" W 76°52'48.2"	2240	Jesús García	

Localización de unidades experimentales zona media

Tabla 4. Identificación de las unidades experimentales de la zona media con relación al propietario del predio.

#	DATOS GEOGRÁFICOS			IDENTIFICACIÓN DEL PROPIETARIO	SISTEMA DE MANEJO DEL PREDIO QUE SE DIO A EVALUAR
	Finca	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m.)	Nombre y Apellido	
1	San Miguel	N 01°09'54.5" W 76°52'39.3"	2203	Antonio Navarro	S1. Bosque secundario, ubicado en las tres pendientes evaluadas.
2	San Miguel	N 01°09'56.8" W 76°52'36.2"	2204	Antonio Navarro	
3	San Miguel	N 01°09'55.1" W 76°52'34.6"	2235	Antonio Navarro	
4	San Miguel	N 01°09'56.4" W 76°52'56.8"	2200	Carlos Fuertes	S2. Sistemas de ganadería intensiva (convencional).
5	San Miguel	N 01°09'53.4" W 76°52'48.1"	2197	Antonio Navarro	
6	San Miguel	N 01°09'56.1" W 76°52'47.1"	2193	Luis Botina	
7	San Miguel	N 01°09'53.5" W 76°52'53.8"	2197	Jesús García	S3. Sistema de manejo de ganado en franjas con cercas eléctricas.
8	San Miguel	N 01°09'52.0" W 76°52'57.2"	2198	Carlos Fuertes	
9	San Miguel	N 01°09'52.3" W 76°52'53.6"	2200	Jesús García	

Figura 24. Localización Puntos cardinales de las 18 unidades experimentales de investigación zona alta y media.



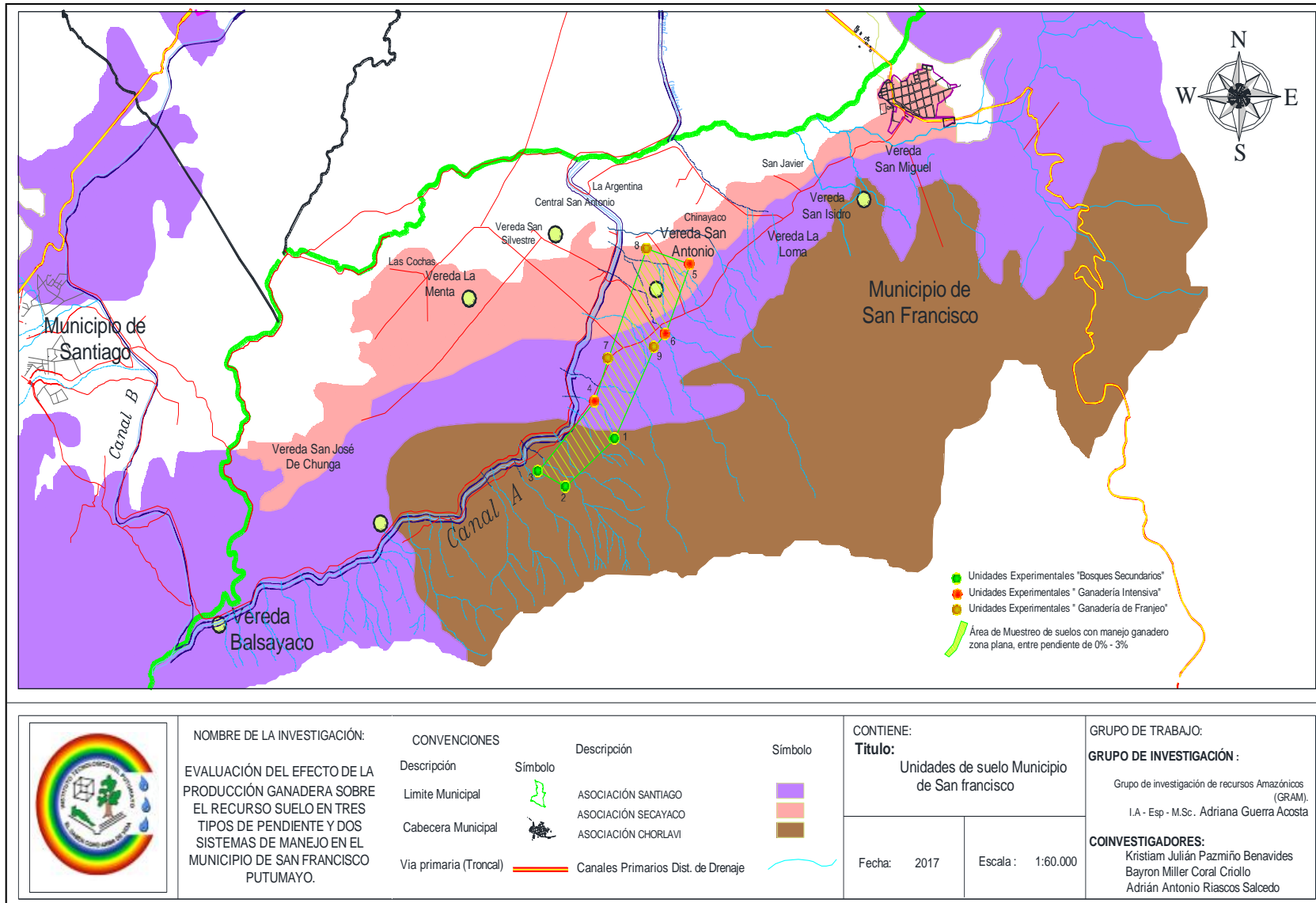
	<p>NOMBRE DE LA INVESTIGACIÓN:</p> <p>EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA PRODUCCIÓN GANADERA SOBRE EL RECURSO SUELO EN TRES TIPOS DE PENDIENTE Y DOS SISTEMAS DE MANEJO EN EL MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO PUTUMAYO.</p>	<p>CONVENCIONES</p> <table border="0"> <tr> <td>Descripción</td> <td>Símbolo</td> <td>Descripción</td> <td>Símbolo</td> </tr> <tr> <td>Limite Municipal</td> <td></td> <td>ASOCIACIÓN SANTIAGO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cabecera Municipal</td> <td></td> <td>ASOCIACIÓN SECAYACO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Via primaria (Troncal)</td> <td></td> <td>ASOCIACIÓN CHORLAVI</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Canales Primarios Dist. de Drenaje</td> <td></td> </tr> </table>	Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo	Limite Municipal		ASOCIACIÓN SANTIAGO		Cabecera Municipal		ASOCIACIÓN SECAYACO		Via primaria (Troncal)		ASOCIACIÓN CHORLAVI				Canales Primarios Dist. de Drenaje		<p>CONTIENE:</p> <p>Título: Unidades de suelo Municipio de San Francisco</p>	<p>GRUPO DE TRABAJO:</p> <p>GRUPO DE INVESTIGACIÓN :</p> <p>Grupo de investigación de recursos Amazónicos (GRAM).</p> <p>I.A - Esp - M.Sc. Adriana Guerra Acosta</p> <p>COINVESTIGADORES:</p> <p>Keyling Lisbany Córdoba Román Milady Patricia Josa Solarte Natalia Caterin Morales Jamioy David Gustavo Vilota Yamá</p>
	Descripción	Símbolo	Descripción	Símbolo																				
Limite Municipal		ASOCIACIÓN SANTIAGO																						
Cabecera Municipal		ASOCIACIÓN SECAYACO																						
Via primaria (Troncal)		ASOCIACIÓN CHORLAVI																						
		Canales Primarios Dist. de Drenaje																						
<p>Fecha: 2018</p> <p>Escala: 1:60.000</p>																								

Localización de unidades experimentales zona plana

Tabla 5. Identificación de las unidades experimentales de la zona plana con relación al propietario del predio.

#	DATOS GEOGRÁFICOS			IDENTIFICACIÓN DEL PROPIETARIO	SISTEMA DE MANEJO DEL PREDIO QUE SE DIO A EVALUAR
	Finca	Coordenadas	Altitud (m.s.n.m.)	Nombre y Apellido	
1	El Porvenir	N 01°08'11.7" W 76°55'13.1"	2221	Richar Vanegas Luna	S1. Bosque secundario, ubicado en las tres pendientes evaluadas.
2	San José del Chunga	N 01°07'51.7" W 76°55'37.5"	2102	Domingo Tiboluis Muyui	
3	La Paz	N 01°07'51.7" W 76°55'37.5"	2179	Luciano Albert Salcedo	
4	El Cabuyo	N 01°08'27.1" W 76°55'23.1"	2105	Francisco Javier Burgos	S2. Sistemas de ganadería intensiva (convencional).
5	El Triunfo	N 01°09'24.2" W 76°54'36.1"	2100	Irma Esperanza Enríquez	
6	San Antonio	N 01°08'55.2" W 76°54'48.0"	2125	Manuel Antonio Suarez	
7	San Antonio	N 01°08'45.1" W 76°55'16.4"	2103	Erazo Rodrigo Villareal	S3. Sistema de manejo de ganado en franjas con cercas eléctricas.
8	El Rosal	N 01°09'30.6" W 76°54'57.4"	2097	José Ignacio Burbano	
9	El Trébol	N 01°08'52.0" W 76°54'56.4"	2127	Omar Enríquez Rózales	

Figura 25. Localización Puntos cardinales de las 9 unidades experimentales de investigación zona plana.



7.1.2. Diagnóstico del estado actual de los suelos manejados por producción ganadera en zona alta, media y plana.

Para el cumplimiento al primer objetivo se realizó un diagnóstico para conocer el estado actual de las unidades experimentales a investigar, donde se observó de manera directa los sistemas de manejo a diferentes pendientes.

Estado actual de los suelos manejados por los sistemas de ganadería de la zona alta.

En la zona alta de la vereda San Miguel se encontró que el establecimiento de diferentes sistemas de manejo ganadero, afecta en menor incidencia el recurso suelo, ya que en estos no se concentra la actividad ganadera en grandes extensiones.

Teniendo en cuenta el periodo de fuertes precipitaciones, se dedujo que en la parte alta, el tipo de erosión que más se presenta es la erosión hídrica causada por el movimiento del ganado, originándose a la vez encharcamientos e impidiendo el escurrimiento del agua pendiente abajo.

Cuando el ganado es asentado en terrenos de ladera, camina en forma intuitiva, siguiendo formas de nivel. El paso continuo del ganado, sumado a su peso ejercido en el área de desplazamiento por las pezuñas, produce una compactación de aproximadamente 0.4 kg, generando un modelo erosivo en forma trapezoidal invertida. La erosión por terracetas degenera posteriormente en formas erosivas de surcos y cárcavas. (Núñez, 2001).

De acuerdo a lo anterior el mismo autor plantea que la erosión en cárcavas es una de las formas de mayor espectacularidad en el proceso erosivo por las dimensiones que este puede alcanzar tanto en longitud como en profundidad. Este tipo de erosión está asociado y combinado por la erosión en surcos y en terracetas, generando en ocasiones remociones en masa de pequeña magnitud (Figura 26).

Figura 26. Erosión por terracetos y erosión hídrica.



a. Erosión realizado por el desplazamiento del ganado terracetos.



b. Erosión en pendientes pronunciadas por recorrido de ganado



c. Erosión Hídrica Presentada en la zona alta.

Además en gran parte de las fincas ganaderas se observó que el ganado tiene acceso directo a manantiales naturales, y que no se respeta la ronda hídrica causando por ende la contaminación de este recurso y la afectación de la vida acuática, aumento de transmisión de enfermedades a la población y el mismo hato ganadero.

Se determinó que la principal razón del impacto de la ganadería en la parte alta fue el uso inadecuado del suelo que en su mayoría va en contra de la vocación del mismo. Este uso inadecuado tiene impactos negativos en fuentes hídricas, en zonas de importancia como ecosistemas de paramos, bosques de alta montaña y por ende transformación de ecosistemas naturales a grandes extensiones de suelo para el uso ganadero, (Figura 27).

Figura 27. Expansión de frontera agropecuaria en zona de alta montaña.



a. Expansión de la ganadería hacia ecosistemas estratégicos.



b. Fragmentación de ecosistemas naturales



c. Expansión ganadera hacia ecosistemas naturales.

De igual manera el establecimiento de la ganadería extensiva en zonas de alta pendiente, a través del tiempo ha tenido un elevado costo ambiental ocasionando pérdida de hábitats naturales, fragmentación de ecosistemas y el más importante la

disminución en la productividad de los suelos que hoy cuentan con un modelo ganadero como lo es el caso de las zonas evaluadas en la presente investigación, donde el modelo ganadero ha influido en que solo se establezca un monocultivo de gramíneas que se obtiene a partir de la eliminación de la sucesión vegetal anteriormente existente.

Estado actual de los suelos manejados por los sistemas de ganadería de la zona media.

En la zona media de la vereda San Miguel se encontró que el establecimiento de diferentes sistemas de manejo ganadero, afecta el recurso suelo, ya que estos modifican el balance de los nutrientes, también pueden reducir los espacios porosos y por ende disminuir el flujo de agua en el suelo, aumentando la compactación de este y por ende generando erosión.

Realizado los recorridos por las unidades experimentales de la vereda San Miguel de la parte media se encontró que la actividad ganadera ha generado efectos ambientales negativos, ya que en la mayoría de las fincas de esta zona, se observa que predomina una ganadería extensiva en donde el ganado recorre libremente grandes espacios de terreno realizando presión sobre los suelos, esto se vio reflejado en los sistemas de manejo tanto en el convencional como en el de franqueo con cerca eléctrica. También cabe resaltar que otro de los recursos afectados son las fuentes hídricas en donde el ganado tiene acceso libremente a estas, se dedujo que el tipo de erosión predominante en esta zona de estudio fue la erosión por terracetas y erosión hídrica, (Figura 28).

Figura 28. Procesos erosivos con terracetas o patas de vacas



a. Recorrido libre del ganado.



b. Acceso del ganado a fuentes hídricas.



c. erosión por terracetas y hídrica.

También se encontraron bebederos y saladeros que generalmente, la mayoría de estos estaban ubicados en puntos en donde el ganado se veía obligado a bajar y subir varias veces al día, formando caminos surcados pendiente abajo, donde se encauza la escorrentía, generando grandes daños y cárcavas a lo largo del tiempo, (Figura 29).

Figura 29. Impacto ambiental a fuentes hídricas



a. Bebederos ubicados en puntos estratégicos

b. Bebederos ubicados sobre fuentes hídricas

c. Bebederos ubicados en puntos estratégicos.

Al igual que en la zona plana, en la zona media también se vio afectado el suelo por erosión de terracetas o patas vaca, esto causado por el desplazamiento de animales en diferentes direcciones, ya que se observó la presencia animales muy pesados, los cuales generan grandes daños de compactación y por ende contaminación del suelo, provocando la pérdida de capacidad de almacenamiento de agua causando erosión superficial, deslizamientos y cárcavas.

Sumado a lo anterior las altas precipitaciones en la zona de estudio también están asociadas a la degradación del suelo ocupado para la actividad ganadera. Al respecto se deduce que la precipitación influye mucho en la erosión especialmente cuando el suelo está desprotegido y carece de una cubierta vegetal, debido a la presión que ejercen los animales pesados, causando a la vez erosión por surcos (caminos) e impidiendo el crecimiento de las plantas, causando pérdidas de suelo por escorrentía.

En este sentido Núñez (2001), afirma que el proceso erosivo se debe al escurrimiento o flujo concentrado de agua, esto se da incluso en terrenos ligeramente ondulados, con pendientes del 3 a 8 %. El agua que escurre por la superficie de los terrenos es el mecanismo de transporte de las partículas del suelo, que fluyen mezclados heterogéneamente y concentran su flujo a lo largo de pequeñas depresiones del terreno.

Figura 30. Degradación de suelo por erosión por terracetras y formación de cárcavas



a. Erosion por terracetras presentadas en unidades experimentales.



b. Erosion por terracetras formando caminos o surcos.



c. Erosion hidrica presentada en las unidades experimentales.

El impacto ambiental de la ganadería sobre el recurso hídrico puede notarse a diferentes niveles, como son la calidad físico-química del agua, la estabilidad del cauce y los organismos acuáticos que viven allí. Todos estos parámetros se relacionan entre sí, y en la medida que se afectan por el uso del suelo, pueden ser empleados para determinar los efectos que esta última causa sobre el recurso hídrico.

Para González (2017) un suelo despejado recibe directamente la radiación solar, pierde humedad y afecta el desarrollo de plantas nativas e introducidas, esa pérdida el hombre la compensa con fertilizaciones calcáreas y nitrogenadas que causan contaminación de aguas superficiales y profundas.

Estado actual de los suelos manejos por los sistemas de ganadería de la zona plana

La ganadería ha generado procesos erosivos como las terracetras y patas de vaca las cuales fueron observadas en las 6 unidades experimentales evaluadas que se dedican a la alimentación del ganado, incrementando su severidad en los sistemas intensivos donde el ganado recorre libremente en grandes áreas presionando sobre las primeras capas del suelo, mientras que en los sistemas de manejo de franjeo la presencia era menor (Figura 31).

Figura 31. Procesos erosivos con terracetos y patas de vaca



A. Erosion por terracetos por patas de vaca

b. sistemas intensivos de Ganadería

c. Toma de muestras en unidad experimental..

Estos efectos están relacionados a partir de las terracetos formadas por el tráfico del ganado, a través de la dirección de la vertiente. Además estas van formando un escalonamiento en las laderas cuya parte plana son consideradas como la zona de tráfico o de paso permanente, se va compactando y va perdiendo capacidad de infiltración; el agua en la terracetos se infiltra entonces por el respaldo y, si el suelo es poco profundo o tiene un horizonte de textura pesada y contrastante a poca profundidad, llega a saturarse en su horizonte superficial, pudiendo originar deslizamientos, solifluxión o reptación, dependiendo del gradiente de las pendientes y del suelo.

En comparación del sistema de franqueo y las fincas de manejo de ganado intensivo, el efecto es más severo en el último sistema mencionado, debido a que los animales al encontrarse en un área muy amplia, recorren un sendero continuamente para llegar a las zonas de su preferencia ya sea para pastorear o descansar lo que el pisoteo se reitera con alta frecuencia y la humedad edáfica es elevada. Si el contenido de humedad del suelo es alto, el impacto de la pezuña suele provocar deformación superficial (Sosa, Martín, & Zerpa, 1995) generando aumento en la densificación y disminuciones de la porosidad, la estabilidad estructural y la capacidad de infiltración (Denoia, Sosa, & Zerpa, 2000).

Al estar ubicados los suelos de estudio en zona plana, acompañados de las altas precipitaciones en la región, se observó en los recorridos de campo que los suelos presentaban altos niveles de saturación debido a niveles freáticos altos, acompañados por procesos de compactación que se evidenciaron por la presencia de terracetos o patas de vaca donde se evaluaron, además se evidenció que los sitios como bebederos, la presencia de erosión tipo terracetos se incrementaba al existir una presión frecuente sobre estas zonas.

Ya que en el valle de Sibundoy se presentan cambios climáticos repentinos, que van desde brisas leves hasta calor extremos, estos efectos causan una alteración en el comportamiento habitual de los animales. Por lo que (Brown-Brandl TM,

2006b), dan a conocer que bajo condiciones de estrés por calor los animales aumentan el tiempo dedicado a beber agua y el que permanece de pie cerca de los bebederos.

Por esta razón el acceso a fuentes de agua como los bebederos; es muy importante ya que el consumo de agua es una de las formas más rápidas y eficientes por las que el animal reduce su temperatura corporal. Durante el verano ésta es prácticamente duplicada respecto al consumo de invierno. El consumo de agua en el verano alcanza $32,4 \pm 0,13$ L/día, mientras que en el invierno es de $17,3 \pm 0,08$ L/día (Arias R. , 2006).

Figura 32. Saturación del suelo en fincas evaluadas



Además en el caso de los potreros, la erosión resultante del tránsito de los animales afecta en forma negativa el flujo del agua a través del perfil y la estabilidad estructural, procesos que causan erosión superficial (Rivera, 1998).

Al realizar una comparación entre las tres pendientes (Zona alta, media y plana) con inclinaciones de 0 a 8%, 8 a 45% y >45 respectivamente, se determinó que la zona plana presenta un mayor problema de erosión por terracetas debido a su alto nivel freático, presencia de humedales y desecación de los mismos para extender la frontera agropecuaria. Otra de las zonas más afectadas fue la zona alta donde se observó la transformación de bosques a pastos, la deforestación, pérdida de hábitats naturales, lo cual repercute en la pérdida de biodiversidad en bosques de alta montaña, cambiando el uso del suelo en pastizales para ganado

7.2. ANALISIS DE PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

El presente sub capitulo se divide en dos partes: la primera de ellas reúne la información discutida a través de un análisis multivariado dando a conocer las posibles interrelaciones entre las variables físicas evaluadas a dos profundidades 0 a 15 cm y 15 a 30 cm, en tres tipos de pendiente (0-8%, 8-45% y >45%) y tres sistemas de manejo (sistema convencional, sistema en franjas con cerca eléctrica

y un tratamiento testigo bosque secundario) y las químicas a una sola profundidad de 30 cm en los mismos sistemas. La segunda analiza variables físicas como la resistencia a la penetración y la textura. Esto con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo de esta investigación.

PROPIEDADES FÍSICAS.

7.2.1. Análisis multivariado para las propiedades físicas a profundidades de 0 a 15 y 15 a 30 cm.

Tabla 6. Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades físicas de 0 a 15 cm.

N	Variable	Total Und. experimental	Valor prom.	Desviación estándar	Valor mín.	Valor máx.
1	Densidad Aparente (g/cm ³)	27	0.47	0.15	0.25	0.87
2	Densidad Real (g/cm ³)		2.08	0.28	1.77	2.65
3	Porosidad Total (%)		76.45	8.79	55.60	87.97
4	Humedad Gravimétrica (%)		213.71	81.24	96.18	380.85
5	Humedad Volumétrica (%)		85.72	16.00	61.48	111.80
6	Estabilidad Estructural (%)		5.84	0.65	4.07	7.06
7	Conductividad hidráulica (cm/h)		1.60	1.81	0.07	5.94

Tabla 7. Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades físicas de 15 a 30 cm.

N	Variable	Total Und. Experimental	Valor prom.	Desviación estándar	Valor mín.	Valor máx.
1	Densidad Aparente (g/cm ³)	27	0.69	0.16	0.43	1.19
2	Densidad Real (g/cm ³)		2.26	0.31	1.82	3.02
3	Porosidad Total (%)		68.59	7.74	50.23	83.45
4	Humedad Gravimétrica (%)		128.78	44.91	56.30	235.55
5	Humedad Volumétrica (%)		76.03	22.53	3.48	101.63
6	Estabilidad Estructural (%)		5.72	0.65	4.23	7.17
7	Conductividad hidráulica (cm/h)		0.75	0.62	0.03	2.60

Según las Tablas 6 y 7 se muestran las siete (7) variables más significativas arrojadas por el sistema estadístico utilizado, las cuales fueron evaluadas en cada

una de las veinte siete (27) unidades experimentales (fincas) en las tres pendientes y los tres sistemas de manejo.

7.2.2. Correlaciones múltiples entre variables evaluadas a profundidad de 0 a 15 y 15 a 30 cm .

Las Tablas 8 y 9 eunen las correlaciones múltiples de las siete variables físicas evaluadas a las profundidades 0 a 15 cm y 15 a 30 cm

Tabla 8. Correlaciones múltiples de profundidad de 0 a 15 cm

Matriz de Correlación	Densidad Aparente (g/cm ³)	Densidad Real (g/cm ³)	Porosidad Total (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	Estabilidad Estructural (%)	Conductividad hidráulica (cm/h)
Densidad Aparente (g/cm ³)	1						
Densidad Real (g/cm ³)	-0.25	1					
Porosidad Total (%)	-0.95**	0.52	1				
Humedad Gravimétrica (%)	-0.84**	-0.11	0.71**	1			
Humedad Volumétrica (%)	-0.30	-0.51	0.12	0.67	1		
Estabilidad Estructural (%)	0.00	-0.15	-0.05	0.33	0.50	1	
Conductividad hidráulica (cm/h)	-0.41	0.30	0.48	0.24	-0.28	-0.42	1

De acuerdo a la Tabla 8 de correlaciones que representa las variables de 0 a 15 cm de profundidad, se estableció una alta correlación de la variable densidad aparente (g/cm³) con respecto a % de porosidad y humedad gravimétrica (%) con un valor de -0.95 y -0.84, respectivamente y la variable porosidad (%), con respecto a humedad gravimétrica (%) con un valor de 0.71, mientras que la correlación de las variables restantes no fue significativa, es por esto que el análisis de correlación, permite deducir que la densidad aparente (g/cm³) es inversamente proporcional con la porosidad (%) y humedad gravimétrica.

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de importantes características del suelo tales como: porosidad, grado de aireación, capacidad de drenaje. En un tipo de suelo, los valores bajos de densidad aparente implican suelos porosos, bien aireados y con buen drenaje como es el caso de este estudio. Por otro lado, si los valores son altos, quiere decir que el suelo esta compactado y tiene poca porosidad

en su composición, pues la infiltración del agua es lenta, lo cual puede provocar inundaciones (Gutierrez, 2018).

La correlación negativa y altamente significativas de densidad aparente (g/cm^3) con respecto a humedad gravimétrica (%) de -0.84, indica según Sadeghian, Rivera & Gómez (s.f) que los suelos con menor densidad aparente y real (g/cm^3) son los que poseen mayor volumen de poros y por consiguiente pueden retener más humedad y según (Brady & Weil, 1999) cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces (Wolf & Snyder, 2003).

En cuanto a la correlación que existe entre las variables % de porosidad con % de humedad gravimétrica con un valor de 0.71, indica que estas variables son directamente proporcionales, es decir que a medida que aumenta el porcentaje de porosidad también aumenta el porcentaje de humedad gravimétrica que se puede almacenar en el suelo, que según Botta *et al.*, (2007) establece que los aumentos en la porosidad generan mayor aireación y humedad del suelo.

Tabla 9 Correlaciones múltiples de profundidad de 15 a 30 cm

Matriz de Correlación	Densidad Aparente (g/cm^3)	Densidad Real (g/cm^3)	Porosidad Total (%)	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica (%)	(%)Estabilidad Estructural (SI)	Conductividad hidráulica (cm/h)
Densidad Aparente (g/cm^3)	1						
Densidad Real (g/cm^3)	0.24	1					
Porosidad Total (%)	-0.71**	0.38	1				
Humedad Gravimétrica (%)	-0.77**	-0.50	0.35	1			
Humedad Volumétrica (%)	-0.20	-0.32	-0.02	0.59**	1		
Estabilidad Estructural (%)	-0.03	-0.32	-0.03	0.39	0.35	1	
Conductividad hidráulica (cm/h)	-0.07	0.15	0.21	0.34	-0.57	-0.26	1

En relación a la Tabla 9, se estableció que la densidad aparente (g/cm^3), que incluye los espacios porosos del suelo, presentó una correlación inversa altamente significativa con respecto a la porosidad (%) y humedad gravimétrica (%), cuyo coeficiente tiene un valor de -0.71 y -0.77 respectivamente. En cuanto a la correlación negativa entre densidad aparente (g/cm^3) y porosidad (%), Heredia (S.f) afirma que la densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo

y es importante para el manejo de los mismos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). Además la compactación (debida al pisoteo de animales, al laboreo, las precipitaciones, etc.) disminuye el volumen de poros, incrementando así la densidad aparente. Estos resultados obtenidos a través del análisis estadístico, permiten afirmar que el comportamiento de la densidad aparente en los suelos influye en la porosidad del mismo.

Rubio (2010), manifiesta que los valores bajos de densidad aparente son propios de suelos porosos, de igual manera Thompson y Troeh (2002), deducen que esta propiedad refleja el contenido total de porosidad en un suelo, es decir, como el volumen total de poros, que en general, se incrementa a medida que la textura es más fina, resultando en una disminución de la densidad aparente, como se obtuvo en la presente investigación en las Tablas 8 y 9 de correlaciones múltiples donde se muestran valores máximos y mínimos de 0.87 y 0,25 respectivamente correspondiendo a la profundidad 0 a 15 cm, de igual manera para la profundidad de 15 a 30 cm de obtuvo un valor máximo de 1.19 y un mínimo de 0,43 los cuales se encuentran por debajo de los valores ponderados de densidad aparente (g/cm^3).

Con respecto a la correlación negativa entre la densidad aparente (g/cm^3) y la humedad gravimétrica (%), indica que la relación entre estas dos variables es de gran importancia para los estudios de disponibilidad de agua para las plantas, infiltración, drenaje, distribución de poros, conductividad de agua, movimiento de solutos y su distribución espacial (Walczak *et al*, 2002).

En el mismo sentido, Da Rocha (1973) afirma que la manipulación indebida del régimen de aguas como lo es el drenaje excesivo aumenta el descenso de la superficie del suelo, que de acuerdo con Everett (1983), es el fenómeno causante de que la densidad aparente de los suelos aumente.

Además existe una correlación directamente proporcional entre la humedad gravimétrica (%) y la humedad volumétrica (%) con un valor de 0.59, es por esto que la humedad volumétrica es considerada como un proceso dinámico que afecta las reacciones químicas, procesos físicos y biológicos que ocurren dentro del suelo e influyen en la nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas, en el almacenamiento de agua en el suelo y en la regulación hidrológica, entre otros; es también considerado de interés desde el punto de vista ambiental, ya que influye en procesos como distribución y transmisión de agua, solutos y contaminantes a través de la zona no saturada del suelo (Hillel, 1971).

En cuanto a la humedad gravimétrica Jaramillo (2002), deduce que la cantidad de agua que posee 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 minerales 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.

De lo anterior se deduce que la humedad gravimétrica (%) y la humedad volumétrica (%) están directamente relacionadas, y son proporcionales ya que el movimiento del agua depende de la capacidad del suelo para retenerla, reduciendo la pérdida de humedad por evaporación e incrementando la humedad disponible, la respecto (Unigarro *et al.*, 2009) determina que existe una relación entre la humedad volumétrica y la gravimétrica al determinarse de la siguiente forma:

$$Hv = \frac{Da}{Dag} \times Hg$$

Donde:

Hg= Humedad gravimétrica

Hv= Humedad volumétrica (ml agua/100 ml de suelo)

Da= Densidad aparente del suelo (g/ml)

Dag= Densidad del agua (g/ml)

7.2.3. Componentes principales profundidad 0 a 15 y 15 a 30 cm

El análisis de componentes principales se trabajó con los promedios resultantes de las repeticiones en cada tratamiento, es así como se obtuvieron 7 variables físicas y a las dos profundidades evaluadas.

Tabla 10. Matriz de componentes de 0 a 15 cm

N	Valor propio	% F1	Porcentaje acumulado % F2	
1	3.0822	44.03	44.03	*****
2	2.3066	32.95	76.98	*****
3	0.9230	13.19	90.17	*****
4	0.4508	6.44	96.61	*****
5	0.1964	2.81	99.41	*****
6	0.390	0.56	99.97	**
7	0.0021	0.03	100.00	*

Según a la Tabla 10, se muestra el histograma de los primeros siete (7) valores a propios donde el primer componente (F1) y el segundo componente (F2) representan el 44.03 y el 32.95%, representando los dos componentes principales con un porcentaje acumulado del 76.98%, los cuales explican la variabilidad total de los datos.

Tabla 11. Matriz de componentes de 15 a 30 cm

N	Valor propio	% F1	Porcentaje acumulado % F2	
1	2.7864	39.81	39.81	*****
2	1.9311	27.59	67.39	*****
3	1.0041	14.34	81.74	*****
4	0.7562	10.80	92.54	*****
5	0.3710	5.30	97.84	*****
6	0.1069	1.53	99.37	****
7	0.0444	0.63	100.00	**

Según a la Tabla 11, se puede deducir que a profundidad 15 a 30 cm, el primer componente principal (F1) explica el 39.81% de la variación, el segundo (F2) explica el 27.59%, dando un acumulado total del 67.39% de la variabilidad total de los datos.

7.2.4. Análisis de variables activas profundidad de 0 a 15 y 15 a 30 cm.

El análisis de componentes principales permitió conocer el aporte de cada una de las variables más significantes en base al análisis estadístico, seleccionando un total de dos factores o componentes para cada una de las profundidades.

Tabla 12. Variables activas de 0 a 15 cm

Variables	Componente	
	F1	F2
Densidad Aparente (g/cm ³)	0,97	-0,04
Densidad Real (g/cm ³)	-0,28	0,69
Porosidad Total (%)	-0,94	0,25
Humedad Gravimétrica (%)	-0,89	-0,41
Humedad Volumétrica (%)	-0,37	-0,85
Estabilidad Estructural (%)	-0,09	-0,71
Conductividad hidráulica (cm/h)	-0,48	0,60

Según la Tabla 12 de variables activas, se muestra una regresión múltiple que tienen los componentes F1 y F2 en el aporte de cada una de las variables. Del mismo modo se muestra la composición de cada componente, donde el componente F1 se conforma por las variables densidad aparente (g/cm³), Porosidad (%) y humedad gravimétrica (%) con valores de 0.97, -0.94 y -0.89, respectivamente; y F2 por densidad real (g/cc), humedad volumétrica (%), estabilidad estructural (%), conductividad hidráulica (cm/h) con valores de 0.69, -0.85, -0.71 y 0.60, respectivamente. Estos valores están representados en la Grafica 1.

Cabe resaltar las relaciones de la densidad real y densidad aparente (g/cm³) con la porosidad (%), destacando así que los poros juegan un papel muy importante ya que se miden los espacios que no son ocupados por materia sólida. Además esto determina la capacidad del suelo para almacenar agua o aire, siendo de gran importancia un parámetro muy relevante para el desarrollo y supervivencia de las plantas y para la actividad biológica del suelo, puede calcularse a partir de los valores de densidad aparente (Da) y densidad real (Dr) (Jaramillo, Parra, & González, 1994).

Según Baver *et al.*, (1991) en términos físicos, la compactación disminuye el volumen de poros, modifica la estructura porosa y aumenta la densidad aparente (ρ_a), esto debido a que las unidades experimentales en estudio se dedican principalmente a la actividad ganadera, dando lugar a la compresión del suelo a través de la aplicación de cargas o presiones.

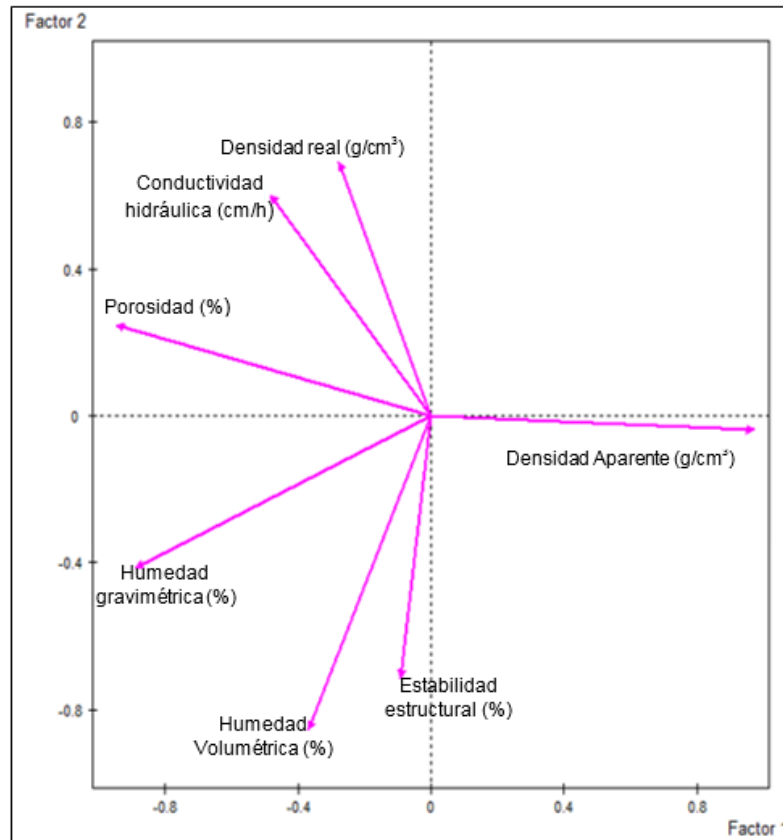
En evaluaciones realizadas en fincas de la Altillanura Colombiana, se ha encontrado que en los primeros 10 cm de profundidad del suelo, la densidad aparente, presenta valores superiores a los de un suelo normal, por lo tanto la porosidad estará limitada. Sin embargo a mayor profundidad (10-20cm), el problema de compactación es menor y la porosidad mayor. (Rincòn, 2006)

La densidad real de un suelo depende principalmente de la composición y cantidad de minerales y de la proporción de materia orgánica e inorgánica que contiene. (Angeles *et al.*, S.f).

La porosidad del suelo en los primeros centímetros de profundidad determina en gran medida la infiltración y el escurrimiento del agua que condiciona su transporte hacia niveles superficiales o profundos Bruckler (1998). El flujo de agua y aire en el suelo se realiza a través del espacio poroso condicionado por el tamaño, abundancia y distribución de poros Bonneau & Levy (1979). La porosidad debe ser considerada un indicador de la calidad del suelo por su capacidad para almacenar agua y permitir el intercambio fisicoquímico y biológico entre las diferentes fases presentes en el suelo (Karlet *et al.*, 1997).

La estructura del suelo afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, la conducción térmica, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. El agua es el componente elemental que afecta la estructura del suelo con mayor importancia debido a su solución y precipitación de minerales y sus efectos en el crecimiento de las plantas (Organizacion de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion FAO, 2018).

Gráfica 1. Variables activas primer biplot a profundidad de 0 a 15 cm



En el biplot (Gráfica 1), se encuentran representados los dos componentes principales Factor 1 (F1) y Factor 2 (F2) con las variables que los conforman, estando F1 en (eje x) contra los respectivos valores F2 en (eje y). Las variables fueron presentadas como vectores que se originan en la coordenada (0,0) del biplot y se extienden hasta el marcador correspondiente. Del mismo modo se puede observar una asociación lineal directa en las variables referidas a densidad real (g/cm^3), porosidad (%), donde la densidad real (g/cm^3), conductividad hidráulica (cm/h) y porosidad (%), están altamente relacionadas (ángulo pequeño/misma dirección), pues la conductividad hidráulica es tal vez el más importante, debido a que esta determina la facilidad con que el agua se mueve en el suelo, fundamental para el crecimiento y desarrollo de las plantas, estando la conductividad hidráulica (%) en el cuadrante número 2 y humedad gravimétrica (%), humedad volumétrica (%) y estabilidad estructural (%) en el cuadrante número 3; mientras que la variable densidad aparente (g/cm^3) se encuentra sola en el cuadrante número 4.

Una vez analizada la tabla de variables activas, se puede deducir a partir del gráfico generado que, al existir mayor densidad aparente (g/cm^3), la porosidad (%) disminuye y por lo tanto se originará un problema de encharcamiento en el suelo,

en donde el espacio del aire se desplaza por el agua, afectando también su estructura. Una densidad aparente alta indica un suelo compactado, y una densidad aparente baja no indica necesariamente un ambiente favorable para el crecimiento de las plantas.

La densidad aparente tiene una gran importancia en el manejo y ecología del suelo, así como para referir a volúmenes de suelo los datos de laboratorio y realizar evaluaciones relativas a los ciclos biogeoquímicos de los elementos. (Flint, 1984, Muller, & Hamilton, 1992)

Según Rubio (2010), la determinación de la densidad aparente es uno de los métodos más prácticos para evaluar la efectividad de las labores culturales y su impacto en la porosidad y en el mejoramiento o deterioro de la estructura, a la vez que puede ser importante para evaluar el grado de compactación de los suelos.

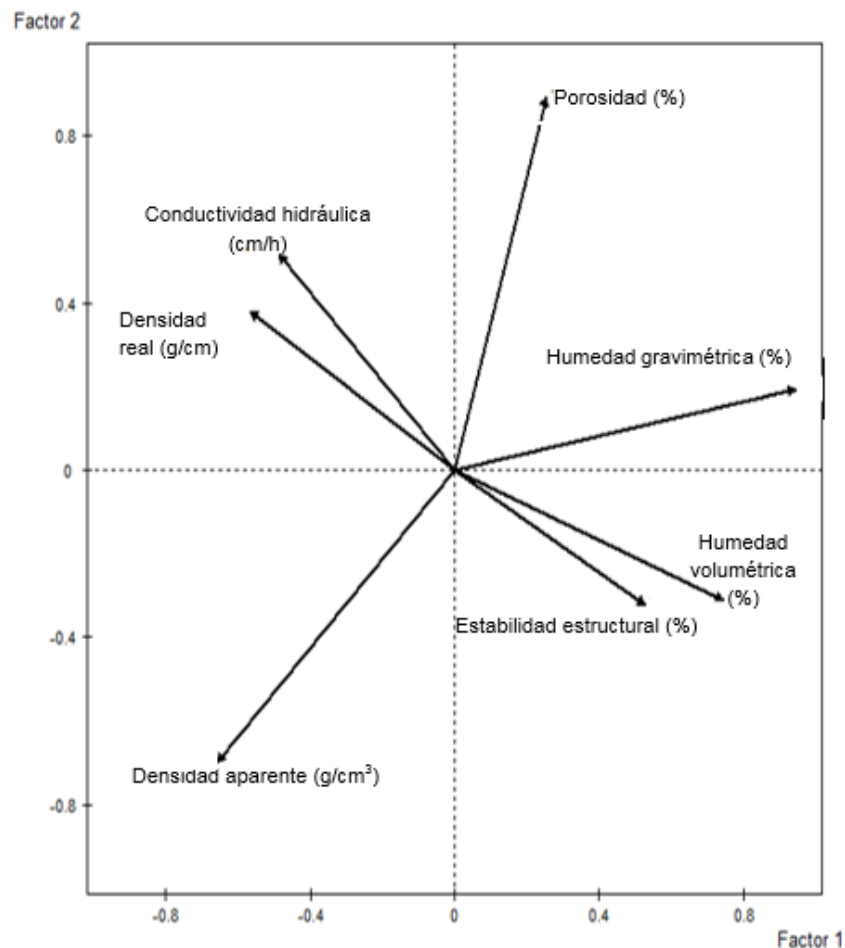
Tabla 13. Variables activas de 15 a 30 cm

Variables	Componente	
	F1	F2
Densidad aparente (g/cm ³)	-0,66	-0,70
Densidad real (g/cm ³)	-0,57	0,38
Porosidad (%)	0,25	0,89
Humedad gravimétrica (%)	0,95	0,19
Humedad volumétrica (%)	0,74	-0,31
Estabilidad estructural (%)	0,53	-0,32
Conductividad hidráulica (cm/h)	-0,49	0,52

Según la Tabla 13 de variables activas, se muestra una regresión múltiple que tienen los componentes F1 y F2 en el aporte de cada una de las variables. Del mismo modo se muestra la composición de cada componente, donde el componente F1 se conforma por las variables humedad gravimétrica (%), humedad volumétrica (%) y densidad aparente (g/cm³) con valores de 0.95, 0,74 y -0.66, respectivamente; y F2 por porosidad (%) y densidad aparente (g/cm³) con valores de 0.89 y -0.70 respectivamente. Estos valores están representados en la Grafica 2.

Cabe aclarar que las variables activas y con mayor relevancia son iguales a las presentadas en la profundidad 0 a 15 cm donde se dio a conocer la relación entre las mismas.

Gráfica 2. Variables activas segundo biplot a profundidad de 15 a 30 cm



En el biplot (Gráfica 2), se encuentran representados los dos componentes principales Factor 1 (F1) y Factor 2 (F2) con las variables que los conforman, estando F1 en (eje x) contra los respectivos valores F2 en (eje y). Las variables fueron presentadas como vectores que se originan en la coordenada (0,0) del biplot y se extienden hasta el marcador correspondiente.

En la gráfica anterior se puede observar las variables referidas a porosidad (%) y humedad gravimétrica (%), las cuales no están altamente relacionadas, como también densidad real (g/cm³) y conductividad hidráulica (cm/h), están altamente relacionadas (ángulo pequeño/misma dirección). Las propiedades hidráulicas están en función de la textura del suelo y de otras características disponibles como la distribución del tamaño de partículas, densidad aparente y/o contenido de materia orgánica (Bouma & Van Lanen, 1987). También se encuentran altamente relacionadas las variables humedad volumétrica (%) y estabilidad estructural (%), en donde el estado de compactación de los suelos es considerado particularmente

importante en la restricción al crecimiento de las raíces, y como el contenido de humedad del suelo y su interacción con la densidad aparente tiene una marcada influencia en las proporciones de alargamiento de la raíz, las condiciones de humedades típicas deben usarse en la evaluación del estado de compactación del suelo (Maurya & Lal, 1979).

En el cuadrante 1 se encuentran porosidad (%) y humedad gravimétrica (%) en el 2, densidad real (g/cm^3) y conductividad hidráulica (cm/h), densidad aparente (g/cm^3) se encuentra sola en el cuadrante número 3 y en el número 4 humedad volumétrica (%) y estabilidad estructural (%).

7.2.5. Análisis de conglomerado de las profundidades de 0 a 15cm y 15 a 30 cm.

Análisis de la profundidad 0-15 cm.

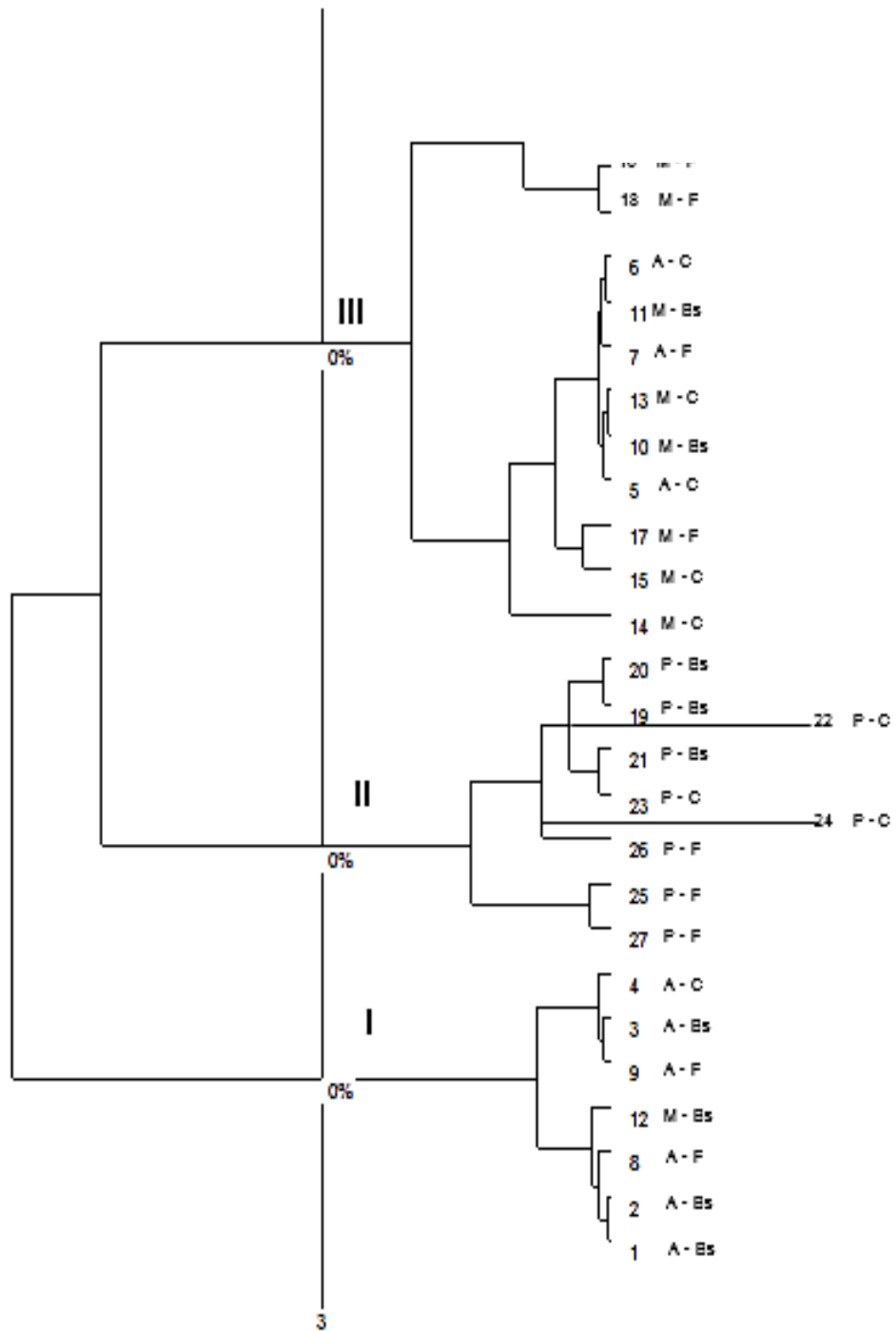
Tabla 14. Identificación de los suelos que conforman cada uno de los tres grupos que constituyen el análisis de clasificación de 0 a 15 cm.

GRUPO	Nº DE FINCAS	FINCAS	PORCENTAJE (%)
I	7	1 2 8 12 9 3 4	25.92
II	9	27 25 26 23 21 19 20 22 24	33.33
III	11	14 15 17 5 10 13 7 11 6 18 16	40.74

De acuerdo a la tabla anterior, en el grupo I se encuentran 7 fincas, las cuales son 1 2 8 12 9 3 y 4 en el grupo II, se encuentran 9 fincas, las cuales son 27 25 26 23 21 19 20 22 y 24, finalmente en el grupo III, se encuentran 11 fincas, las cuales son 14 15 17 5 10 13 7 11 6 18 y 16, que representan que representan 25.92%, 33.33% y 40.77% de la totalidad de unidades experimentales evaluadas respectivamente.

Análisis de clúster (grupo) jerárquico de propiedades físicas, profundidad 0-15 cm

Gráfica 3. Dendograma de clúster para propiedades físicas (0-15 cm)



ZONA	SISTEMA DE MANEJO
A: alta	Bs: bosque secundario
M: media	F: ganadería en franjas, cerca eléctrica
P: plana	C: ganadería convencional

En la Grafica 3 Se presenta el dendograma conformado por tres grupos, donde el primer (I) grupo está integrado por las fincas 1,2 y 3 donde se encontró el tratamiento testigo bosque secundario ubicadas en la pendiente alta; las fincas 8 y 9 encontrándose en ellas el sistema en franjas con cerca eléctrica en una pendiente alta; la finca 4 con un sistema convencional en la pendiente alta y, la finca 12 con un sistema de bosque secundario en la pendiente media, para un total de siete unidades experimentales (fincas).

Clúster (Grupo) I/III

Tabla 15. Caracterización de variables continuas grupo I.

GRUPO	Nº DE FINCAS	VARIABLE	VALOR PROMEDIO	VALOR GENERAL
I	7	Densidad aparente (g/cm ³)	0.68	0.47
		Humedad gravimétrica (%)	129.84	213.71
		Porosidad (%)	63.81	76.45

El grupo (I), se encuentra conformado por las fincas 1 2 8 12 9 3 y 4 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las fincas 1, 2 y 3, fueron evaluadas mediante el sistema de bosque secundario (testigo), las fincas 8 y 9, evaluadas mediante el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica, la finca 4 evaluada bajo el sistema de ganadería convencional y la finca 12 evaluada con el sistema de bosque secundario (testigo) el cual hace parte de la zona media, dando así un total de 7 unidades experimentales, representando el 25.92% del total de fincas evaluadas. Cabe resaltar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona alta (Vereda San Miguel) del área de estudio, y la que menos presencia tuvo en este grupo fue la zona media (Vereda San Miguel), representada por una unidad experimental. De igual manera el sistema más representativo en este grupo fue el bosque secundario y el menos representativo el sistema de ganadería convencional.

Densidad aparente (g/cm³)

Tabla 16. Estimativo para densidad aparente en relación a la porosidad

DENSIDAD APARENTE (gr/cm ³)	POROSIDAD (%)
1.0 – 1.2	55 – 62
1.2 – 1.4	46 – 54
1.4 – 1.6	40 – 46
1.6 – 1.8	46

Fuente. (García , 2003)

En este grupo las variables más representativas son densidad aparente presenta un promedio 0.68 el cual se encuentra por encima del promedio general de 0.47 del grupo que la conforma, es decir que este promedio representa a los suelos que tienen mayor densidad aparente. Estos valores altos de D_a determinan un ambiente pobre para el crecimiento de raíces, debido a la poca aireación y una baja infiltración del agua en el suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, 2009).

Según Jaramillo (2000), la densidad real varía entre 2.6 a 2.75 g/cm³ en todos los suelos agrícolas y cuando existen valores por debajo de los mencionados, se deben a la presencia de altos contenidos de materia orgánica en el suelo.

Teniendo en cuenta Tabla 16, en la cual se encuentran las variables que tienen mayor incidencia en este grupo, se puede observar que dentro de estas la densidad aparente (g/cm³) a nivel grupal tiene un promedio de 0.68 indicando que las 7 unidades experimentales tienen un óptimo contenido de esta variable superando el promedio general cuyo valor es de 0.47 g/cm³ que a su vez representa un adecuado contenido de la misma en el total de las fincas, esto debido a que las cantidades presentes son menores a 1 g/cm³, esto según García (2011), afirma que la densidad aparente baja es un signo de buen funcionamiento del suelo y que permite mejores condiciones para el crecimiento y desarrollo de raíces y por ende una mayor producción de los ecosistemas, por ello la importancia de la evaluación de esta propiedad para este estudio. Es de gran importancia resaltar que esta variable física predomina el tratamiento testigo (bosque secundario) ubicado en la pendiente alta.

Porosidad total (%)

Tabla 17. Calificación de la porosidad total del suelo.

CALIFICACIÓN	POROSIDAD TOTAL (%)
Excesiva	> 70
Excelente	55 – 70
Satisfactoria	50 – 55
Baja	40 – 50
Muy baja	< 40

Fuente. (Jaramillo, 2002).

En este mismo grupo otra de las variables a destacar es el porcentaje de porosidad, donde los suelos del total de las unidades experimentales presentan un valor general de 76.45%, y siete de ellas que conforman a este grupo tienen un valor de 63.81% siendo este inferior al promedio antes mencionado. Teniendo en cuenta la Tabla 17 Calificación de la porosidad total del suelo, el promedio general es mayor al 70%, es decir que los suelos del total de las fincas estudiadas presentan un porcentaje de porosidad excesiva y, los suelos de las fincas que integran el grupo tienen una porosidad excelente ya que su valor se encuentra entre los rangos de 55-70%, siendo así estos suelos según Jaramillo (2002) normales con buenas condiciones por lo que presentan una porosidad cercana al 50%.

Esta variable al asociarla con las propiedades químicas y el origen como volcánico o Andisoles, presenta características físicas que favorecen una buena estabilidad estructural y una apreciable resistencia a la desagregación. Las principales de estas características son: densidad aparente baja, porosidad elevada con importante microporosidad, cantidad importante de micro agregados estables en agua y formación de complejos con la materia orgánica y los minerales amorfos de Fe y Al, muy estables (Shoji *et al.*, 1993).

Clúster (Grupo) II/III

Tabla 18. Caracterización de variables continuas grupo II.

GRUPO	Nº DE FINCAS	VARIABLE	VALOR PROMEDIO	VALOR GENERAL
II	9	Densidad real (g/cm ³)	2.38	2.08
		Conductividad hidráulica (%)	2.99	1.60
		Porosidad (%)	82.54	76.45
		Humedad volumétrica (%)	67.88	85.72

El grupo II, se encuentra conformado por las fincas 27 25 26 23 21 19 20 22 y 24 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las fincas 1, 2 y 3, fueron

evaluadas mediante el sistema de bosque secundario (testigo), las fincas 8 y 9, evaluadas mediante el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica, la finca 4 evaluada bajo el sistema de ganadería convencional y la finca 12 evaluada con el sistema de bosque secundario (testigo) el cual hace parte de la zona media, dando así un total de 7 unidades experimentales, representando el 25.92% del total de fincas evaluadas. Cabe resaltar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona alta del área de estudio (Vereda San Miguel), y la que menos presencia tuvo en este grupo fue la zona media (Vereda San Miguel), representada por una unidad experimental. De igual manera el sistema más representativo en este grupo fue el bosque secundario y el menos representativo el sistema de ganadería convencional.

El grupo (II), se encuentra conformado por las fincas 19, 20, 21, 22, 23,24, 25,26 y 27 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las fincas 19, 20 y 21 fueron evaluadas mediante el sistema de bosque secundario, las fincas 22,23 y 24, con el sistema de ganadería convencional y finalmente las fincas 25,26 y 27 con el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica, para un total de 9 unidades experimentales (fincas). Cabe aclarar que todas las fincas de este grupo pertenecen a la zona plana del área de estudio (Inspección de San Antonio).

En el grupo (II) se resaltan las siguientes propiedades físicas: densidad real (g/cm^3), con valores de 2.08 – 2.38 g/cm^3 conductividad hidráulica (cm/h) con 1.60 – 2.99 cm/h y con un % de porosidad de 76.45 – 82.54%. En las cuales el primer valor mencionado corresponde al valor general y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran, de lo cual se puede deducir que el promedio de grupo en las propiedades físicas anteriormente mencionadas de estas fincas es superior al promedio general.

Densidad real (g/cm^3)

Según Jaramillo (2002), y Burbano & Cadena (2009), coinciden que la densidad real varía entre 2.6 a 2.75 g/cm^3 en todos los suelos agrícolas y cuando existen valores por debajo de los mencionados, se deben a la presencia de altos contenidos de materia orgánica en el suelo.

De acuerdo con el estimativo de densidad real (g/cm^3), mencionado por los anteriores autores se deduce que los suelos de las unidades experimentales pertenecientes al grupo (II) presentan suelos con alto contenido de materia orgánica, pues tienen un valor de 2.38 (g/cm^3), que está por debajo del estimativo mencionado, pero es superior al valor promedio general. En el mismo sentido AGRICULTURERS (2014), afirman que los altos contenidos de materia orgánica contribuyen a evitar la disgregación de las partículas del suelo, por lo que la erosión se reduce significativamente.

Cabe resaltar que esta propiedad a esta profundidad sólo se encuentra en este grupo, el cual está conformado en mayor proporción por el sistema en franjas con cerca eléctrica, ubicados en la pendiente alta.

Conductividad hidráulica (cm/h)

Tabla 19. Clasificación de la conductividad hidráulica.

CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA (cm/h)	
INTERPRETACIÓN	cm/h
Muy lenta	< 0.1
Lenta	0.1 – 0.5
Moderadamente lenta	0.5 – 1.6
Moderada	1.6 – 5.0
Moderadamente rápida	5.0 – 12
Rápida	12 – 18
Muy rápida	> 18

Fuente. (Jaramillo, 2002)

Según el estimativo de conductividad hidráulica (cm/h) mencionado anteriormente por Jaramillo, se deduce que estos suelos, pertenecientes al grupo (II), además de presentar un alto valor de densidad real en relación al promedio general, muestran de igual manera un valor alto en la conductividad hidráulica: 2.99 cm/h, con lo cual se deduce que este valor fluctúa entre 1.6 y 5.0, interpretándose como moderada, de esta manera se puede inferir que estos suelos no presentan mayores problemas por encharcamiento y tienen una buena infiltración. Lo anterior está estrechamente relacionado con la buena porosidad de los suelos evaluados en esta investigación.

Legarda *et al.*, (2002), afirma que los valores de conductividad hidráulica del suelo permiten el paso del agua, esta al evaluarse en las capas superiores del suelo, siendo el parámetro más importante del mismo en los problemas de drenaje, está influenciada por el tamaño y forma de espacios porosos a través de los cuales el agua se mueve. La necesidad del drenaje es función del volumen de aire disponible en el suelo, pues esta propiedad afecta la conductividad hidráulica.

Esta variable se encuentra exclusivamente en la pendiente plana en donde predomina el sistema en franjas con cerca eléctrica.

Porosidad (%)

Los suelos de este grupo al igual que los del primero, presentan una porosidad excesiva (%), con un valor de 82.54%, superando el promedio general. Esta propiedad fue analizada en el grupo (I), y teniendo en cuenta el estimativo de la Tabla 20.

Los aspectos funcionales del sistema poroso están estrechamente relacionados con las propiedades hidráulicas del suelo que tienen que ver con la transmisión de fluidos. Estas propiedades están ligadas a la estructura del suelo. (Dorner & Horn, 2006).

Teniendo en cuenta los valores correspondientes al porcentaje de porosidad en el grupo (II) esta variable presenta un valor de 82.54 % superior al promedio general similar en los dos grupos a diferencia del grupo (I) con un valor de 63.8%, pues este porcentaje es un indicativo de que estos suelos tienen un excesiva porosidad, siendo así la porosidad más alta en los diferentes sistemas de manejo que se encuentran en la pendiente plana en comparación a la pendiente alta y media que predominan en el grupo (I).

Clúster (Grupo) III/III

Tabla 20. Caracterización de variables continuas grupo III

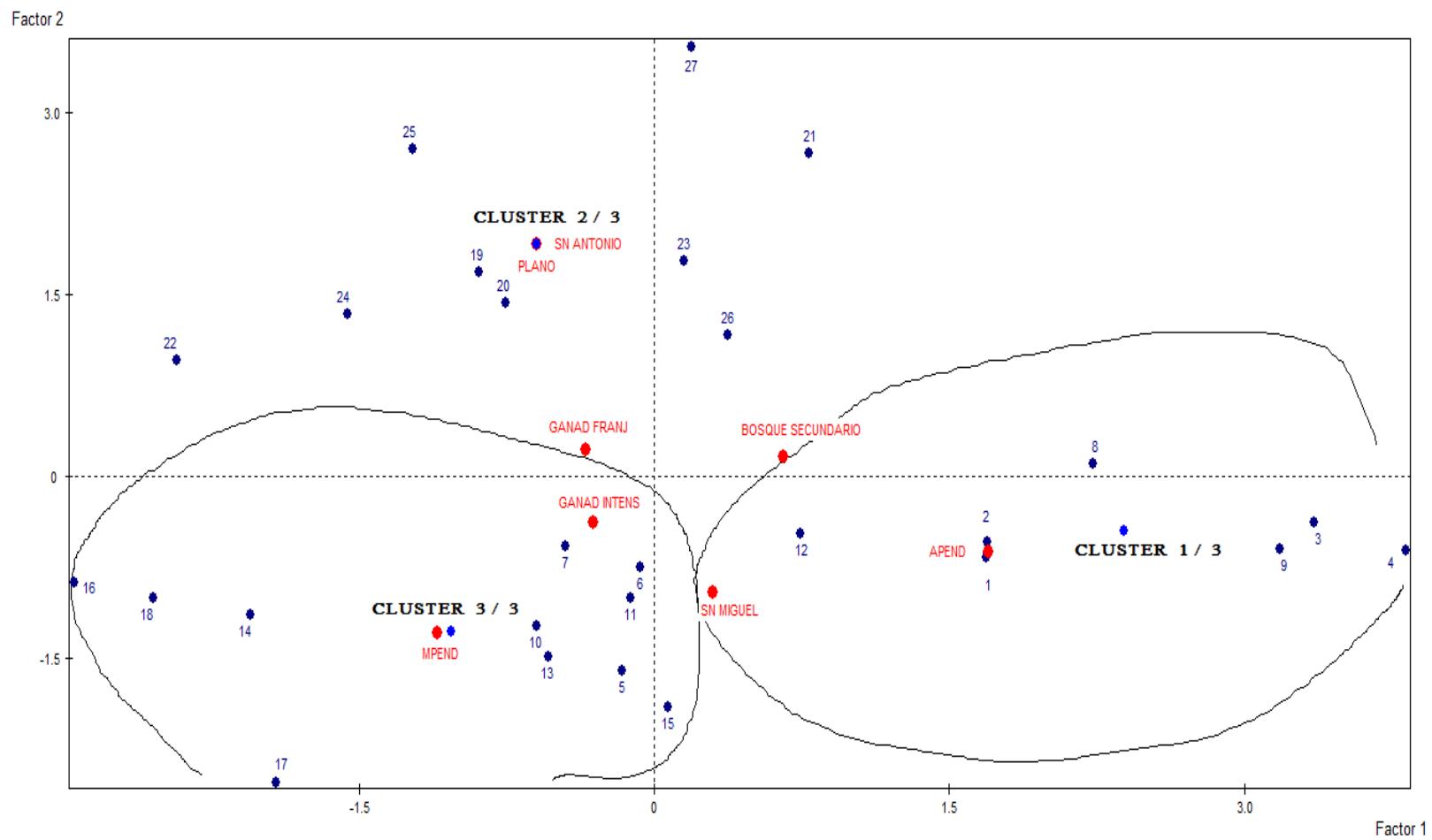
GRUPO	Nº DE FINCAS	VARIABLE	VALOR PROMEDIO	VALOR GENERAL
III	11	Humedad volumétrica (%)	102.56	85.72
		Humedad gravimétrica (%)	282.89	213.71

El grupo III, se encuentra conformado por las fincas 5, 6, 7, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, y 18 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las fincas 5 y 6, fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería convencional, que pertenecen a la zona alta, las fincas 16, 17 y 18 fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica las cuales pertenecen a la zona media, la finca 7 fue evaluada bajo este mismo sistema y pertenece a la zona alta, las fincas 10 y 11 fueron valoradas bajo el sistema de bosque que en esta investigación corresponde al tratamiento testigo y hace parte de la zona media y finalmente las fincas 13, 14 y 15 valoradas con el sistema de, ganadería convencional y pertenecientes a la zona media, para un total de 11 unidades experimentales (fincas). Cabe aclarar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona media (Vereda San Miguel) del área de estudio, y la que menos presencia tuvo en este grupo fue la zona alta (Vereda San Miguel), de igual manera el sistema más representativo en este grupo fue el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica y el menos representativo el bosque secundario.

En el grupo (III) se resaltan las siguientes propiedades físicas: humedad volumétrica, con valores de 85,72 – 102.56 % y conductividad hidráulica (cm/h) con 213.71 – 282.89 cm/h. En las cuales el primer valor mencionado corresponde al valor general y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran, de lo cual se puede deducir que el promedio de grupo en las propiedades físicas anteriormente mencionadas de estas fincas es superior al promedio general.

Estos tres grupos se encuentran ilustrados en la figura. , donde se puede observar la distribución de las 27 unidades experimentales (fincas) con cada uno de sus sistemas de manejo y su respectiva ubicación referente a la pendiente. Con esta figura se puede determinar la relación que existe entre algunas fincas con respecto a las variables que predominan en cada una de ellas, siendo estas las que se encuentran más cercanas una de la otra y se aproximan al origen, a partir de este criterio se puede deducir además que en el grupo (I) se encuentra más asociado a un bosque secundario ubicado a un alta pendiente, en grupo (II) el sistemas que más predomina es el sistema en franjas con cerca eléctrica ubicados en la pendiente plana y en el grupo (III) el sistema convencional ubicado en una pendiente media es el más predominante.

Gráfica 4. Distribucion de grupos Profundidad 0-15 cm.



Análisis de la profundidad 15-30 cm.

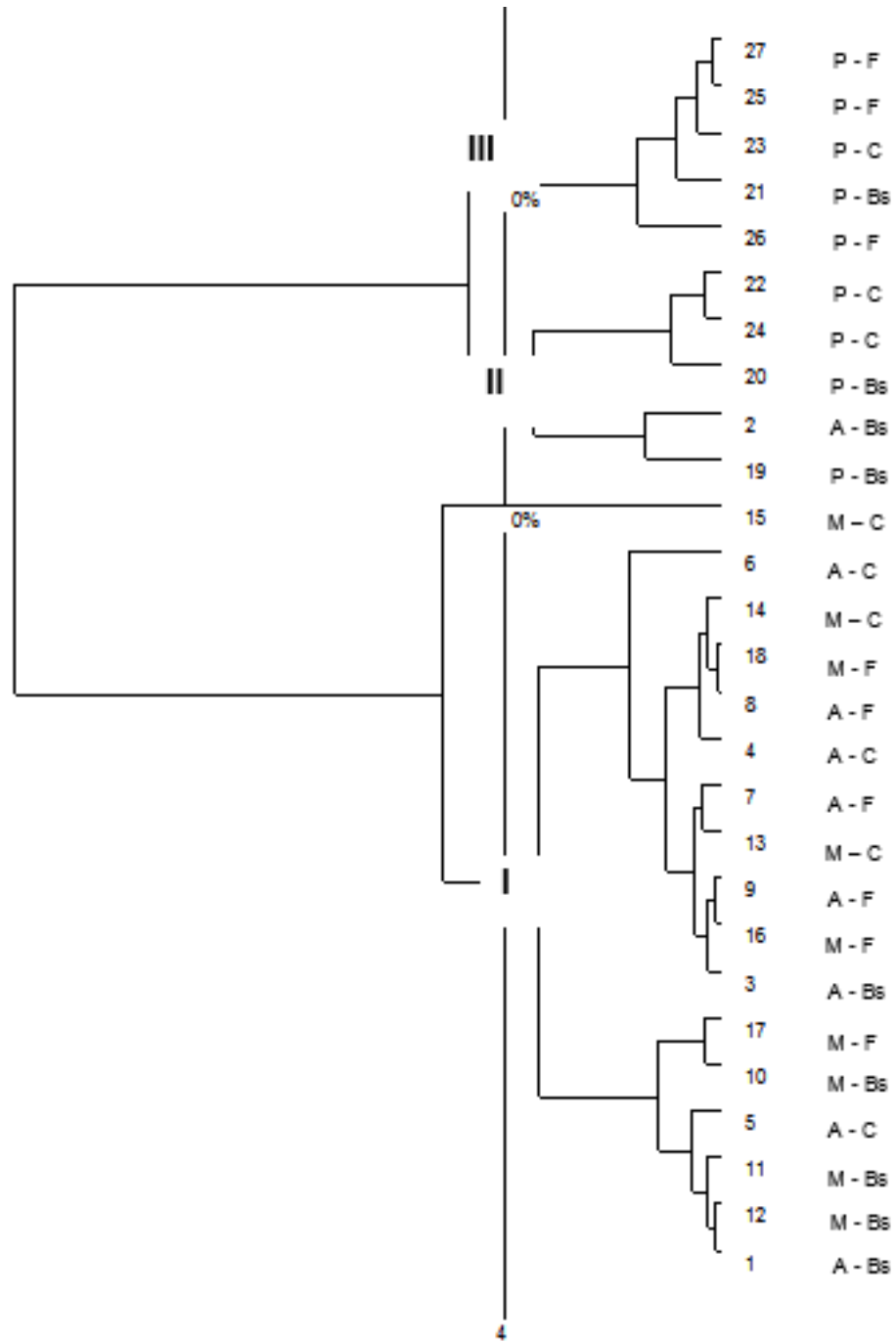
Tabla 21. Identificación de los suelos que conforman cada uno de los tres grupos que constituyen el análisis de clasificación de 15 a 30 cm.

GRUPO	Nº DE FINCAS	FINCAS	PORCENTAJE (%)
I	17	1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18	62.96
II	5	2 10 20 22 24	18.51
III	5	21 23 25 26 27	18.51

De acuerdo a la tabla anterior, en el grupo (I) se encuentran 17 fincas, las cuales son 1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 y 18 en el grupo II, se encuentran 5 fincas, las cuales son 2 10 20 22 y 24, finalmente en el grupo III, se encuentran 5 fincas, las cuales son 21 23 25 26 y 27, que representan 62.96%, 18.51%, y 18.51% de la totalidad de unidades experimentales evaluadas respectivamente.

Análisis de clúster (grupo) jerárquico de propiedades físicas, profundidad 15- 30 cm

Gráfica 5. Dendograma de clúster para propiedades físicas (15 a 30)



ZONA	SISTEMA DE MANEJO
A: alta	Bs: bosque secundario
M: media	F: ganadería en franjas, cerca eléctrica
P: plana	C: ganadería convencional

En la Grafica 5 se presenta el dendograma conformado por tres grupos, donde el primer (I) grupo está integrado por las fincas 1,12,11, 5, 10,17, 3, 16, 9, 13, 7 4, 8, 18, 14 y 6, y fueron evaluadas a una profundidad de 15 a 30 cm, en las cuales se encontraron distribuidas los siguientes sistemas: dentro las fincas ubicadas en la pendiente alta están las fincas 1 y 3 el tratamiento bosque secundario, en las fincas 9, 7 y 8 el sistema en franjas con cerca eléctrica y en las fincas 5,4 y 6 el sistema convencional. En las fincas 12, 11 y 10 el tratamiento testigo bosque secundario, en las fincas 17, 18 y 16 el sistemas en franjas con cerca eléctrica, en las fincas 13, 14 y 15 el sistema convencional, todas estas ubicadas en la pendiente media, para un total de 16 unidades experimentales (fincas).

Clúster (Grupo) I/III

Tabla 22 .caracterización de variables continuas grupo I.

GRUPO	Nº DE FINCAS	VARIABLE	VALOR PROMEDIO	VALOR GENERAL
I	17	Humedad volumétrica (%)	90.77	76.03
		Humedad gravimétrica (%)	152.86	128.78
		Estabilidad estructural (%)	5.89	5.72
		Porosidad (%)	68.09	68.59
		Densidad aparente (g/cm ³)	0.65	0.69
		Densidad real (g/cm ³)	2.11	2.26
		Conductividad hidráulica (cm/h)	0.43	0.75

El grupo I se encuentra conformado por las fincas 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 13, 14, 15, 16, 17 y 18 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las fincas 1 y 3 fueron evaluadas mediante el sistema de bosque secundario (testigo), las fincas 4, 5 y 6 fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería convencional, las fincas 7, 8 y 9 fueron evaluadas con el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica. Las fincas anteriormente mencionadas pertenecen a la zona alta de este estudio, las fincas 10, 11 y 12 fueron valoradas bajo el sistema de bosque secundario (testigo) , las fincas 13, 14 y 15 valoradas con el sistema de, ganadería convencional y finalmente las fincas 16, 17 y 18 fueron evaluadas con el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica. Las fincas anteriormente mencionada pertenecen a la zona media, para un total de 17 unidades experimentales (fincas) representando el 62.96% del total evaluado. Cabe aclarar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona media (Vereda San Miguel) del área de estudio, y la que menos presencia tuvo en este grupo fue la zona alta (Vereda San Miguel), de igual manera los sistemas más representativos en este grupo fueron el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica y el sistema de ganadería convencional y el menos representativo el bosque secundario.

Teniendo en cuenta Tabla 22, en la cual se encuentran las variables que tienen mayor incidencia en este grupo conformado por las 17 fincas, se puede observar que una de las variables más significativa y relevante en ellas es la estabilidad estructural cuyo promedio de 5.89 supera al 5.72 que corresponde al promedio general de las 27 fincas, siendo estos dos promedios según la Tabla 8. clasificación diámetro ponderado medio (DPM) indicadores de una estabilidad estructural muy estable, puesto que supera los DPM > a 5.0, a lo cual Wallace (1994), manifiesta que entre los factores que afectan la estabilidad estructural de los suelos tenemos en primer lugar la distribución de partículas por tamaño, esta constituye una de las características más importantes por cuanto afecta innumerables propiedades de los suelos, entre ellas: la superficie específica, la consistencia, la estructura, la porosidad, la velocidad de infiltración, la conductividad hidráulica, etc.

Además Volverás & Amèzquita (2006), mencionan que más importante que la estructura y la porosidad mismas es la estabilidad de la estructura, entendida como la cohesión de las partículas en agregados y la resistencia de éstos a la dispersión, bajo la acción de la humedad. De modo que la estabilidad de la estructura es un indicador de la erodabilidad y que se determina indirectamente, ponderando parámetros como la textura, el contenido de materia orgánica, la estructura y la permeabilidad del suelo.

También es preciso decir que esta variable física tiene una alta relación con las propiedades químicas del presente estudio puesto que la no alteración de la estabilidad estructural, guarda estrecha relación con el contenido de materia orgánica y con la porosidad ya que de acuerdo a lo expresado por Ordoñez (2007) , si la porosidad disminuye con el tiempo de uso, resulta que hay alteración de la estructura del suelo, pero si la variación de la porosidad es poca, no hay alteración notable de la estructura. Existe una correlación significativa y positiva entre la MO y la estabilidad de los agregados. El 72,67% de la variación en la estabilidad de agregados se explica por el contenido de MO del suelo.

Tabla 23. Calificación Diámetro Ponderado Medio

INTERPRETACIÓN	DPM (mm)
Inestable	< 0.5
Ligeramente estable	0.5 - 1.5
Moderadamente estable	1.5 - 3.0
Estable	3.0 - 5.0
Muy estable	>5.0

Fuente. (Lobo , Deyanira, & Pulido, 2011)

En cuanto a la variable de porcentaje de porosidad se puede decir que en este grupo, las fincas presentan un promedio de 68.09, siendo este inferior al promedio general correspondiente a las 27 fincas que presentan un valor del 68.59, destacando en estos valores que ambos representan para el suelo un porcentaje de porosidad excesivo; el porcentaje de porosidad presente en este grupo a una profundidad de 15 a 30 cm tiene una estrecha relación con los suelos presentes en los grupos de la profundidad de 0 a 15 cm, pues este porcentaje en la mayoría de ellos es excesivo.

Otra variable que se evidencia tanto en el grupo (I) a una profundidad de 0 a 15 cm como en este grupo a una profundidad de 15 a 30 cm en cada una de las fincas en mención es la densidad aparente, registrándose valores de 0.65, siendo este inferior al promedio general con un valor de 0.69, siendo estos dos valores menores a 1 gr/cm^3 , recalcando el alto contenido de esta variable en los suelos en estudio. Al igual que la variable de densidad real en estas profundidades son semejantes, pues en este grupo cuenta con un promedio de 2.38 y 2.11 con respecto al promedio general, deduciendo que el contenido de la misma es óptimo en el suelo de estas fincas.

La variable de conductividad hidráulica presente en este grupo con un valor de 0.43, se interpreta como lenta con respecto al promedio general del total de las fincas, cuyo valor es 0.75 y es interpretado como moderadamente lenta según el estimativo presente en la Tabla 19, clasificación de la conductividad hidráulica, estos valores a diferencia de los presentes en una profundidad de 0 a 15 cm, anteriormente analizada presentaban una moderada conductividad hidráulica, con lo cual se puede deducir que estos suelos presentan problemas de movilidad del agua dentro de ellos.

Clúster (Grupo) II/III

Tabla 24. Caracterización de variables continuas grupo II.

GRUPO	Nº DE FINCAS	VARIABLE	VALOR PROMEDIO	VALOR GENERAL
II	5	Conductividad hidráulica (cm/h)	1.43	0.75
		Porosidad (%)	75.75	68.59
		Densidad real (g/cm^3)	2.41	2.26
		Estabilidad estructural (%)	5.71	5.72
		Humedad gravimétrica (%)	126.81	128.78
		Densidad aparente (g/cm^3)	0.56	0.69
		Humedad volumétrica (%)	50.78	76.03

El grupo (II), se encuentra conformado por las fincas 2, 10, 20, 22, y 24 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las fincas 10 y 20, fueron evaluadas mediante el sistema de bosque secundario (Testigo), las fincas 22 y 24 con el sistema de ganadería convencional, correspondientes a la zona plana y finalmente la finca 2, con el sistema de bosque secundario (Testigo), que hace parte de la zona alta, para un total de 5 unidades experimentales, representando el 18.51% del total de fincas evaluadas. Cabe aclarar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona plana (Inspección de San Antonio) del área de estudio, y la que menos presencia tuvo en este grupo fue la zona alta (Vereda San Miguel), de igual manera el sistema más representativo en este grupo fue el sistema de bosque secundario y el menos representativo fue el sistema de ganadería convencional.

En este se resaltan las siguientes propiedades físicas: conductividad hidráulica (cm/h), con valores 0,75 – 1.43 que representan una conductividad hidráulica moderadamente lenta, y humedad volumétrica (%) con valores de 76.03 – 50.78.

En las cuales el primer valor mencionado corresponde al valor general y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran, de lo cual se puede deducir que el promedio de grupo en la conductividad hidráulica (cm/h) supera el promedio general establecido y que el promedio de grupo de la humedad volumétrica (%) está por debajo del promedio general en los suelos de las fincas anteriormente mencionadas.

De igual manera, en este grupo se presentan otras variables presentes en el grupo I, entre las cuales se encuentran: conductividad hidráulica (cm/h), que no varía en ningunos de los dos grupos, porosidad (%), cuyo valor aumentó sobre el promedio general, Densidad real (g/cm³), que también aumentó y densidad aparente (g/cm³), que disminuyó en relación al promedio general.

Clúster (grupo) III/III

Tabla 25. Caracterización de variables continuas grupo III.

GRUPO	Nº DE FINCAS	VARIABLE	VALOR PROMEDIO	VALOR GENERAL
III	5	Densidad real (g/cm ³)	2.58	2.26
		Densidad aparente (g/cm ³)	0.84	0.69
		Conductividad hidráulica (cm/h)	1.19	0.75
		Porosidad (%)	66.70	68.59
		Humedad volumétrica (%)	51.47	76.03
		Estabilidad estructural (%)	4.88	5.72
		Humedad gravimétrica (%)	64.35	128.78

El grupo (III), se encuentra conformado por las fincas 21, 23, 25, 26 y 27 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las fincas 25,26 y 27, fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica, la finca 23, con el sistema de ganadería convencional y la finca 21 evaluada con el sistema de bosque secundario (Testigo), correspondientes a la zona plana, para un total de 5 unidades experimentales representando el 18.51% del total de fincas evaluadas. Cabe aclarar que todas las fincas de este grupo están ubicadas en la zona plana (Inspección de San Antonio) del área de estudio. De igual manera el sistema más representativo en este grupo fue el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica y los menos representativos fueron bosque secundario y sistema de ganadería convencional.

En este grupo, se resaltan las siguientes propiedades físicas: densidad real (g/cm³), con valores 2.26 – 2.58 g/cm³, densidad aparente (g/cm³) con valores 0.69 – 0.84 g/cm³, Conductividad hidráulica (cm/h) con valores de 0.75 – 1.19 cm/h, porosidad (%) con valores de 68.50 – 66.70%, humedad volumétrica con valores de 76.03 – 51.47%, estabilidad estructural con valores de 5.72 – 4.88% y humedad gravimétrica con valores de 128.78 – 64.35%. En las cuales el primer valor mencionado corresponde al valor general y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran.

Densidad real (gr/cm³)

Con respecto a esta propiedad y realizando la comparación con la profundidad de 0 a 15 cm, se presenta una similitud en cuanto a los valores, determinándose así que el promedio del grupo es superior al promedio general. Este análisis se realizó anteriormente en los clúster 1 y 2 de la primera profundidad evaluada. Sin embargo al establecer la comparación entre los clúster de este mismo grupo, se evidencia que en el clúster 1, esta variable presento un valor mínimo respecto al promedio general, pero cabe destacar que este valor dentro de los estimativos de densidad real (g/cm³), es óptimo para el suelo de estas fincas, ya que representa altos contenidos de materia orgánica.

Del mismo modo los valores de esta variable presentes en el grupo (II) tienen una estrecha relación con los valores aquí presentes, deduciéndose de este modo que tanto en la pendiente plana y media el contenido de esta variable es ideal.

Estabilidad estructural (%)

Tabla 26. Estabilidad de agregados del suelo.

Estabilidad de agregados	SI
Excelente	> 1
Muy buena	0,8 - 1
Buena	0,66 – 0,8
Insatisfactoria	0,5 – 0,66
Mala	< 0,5

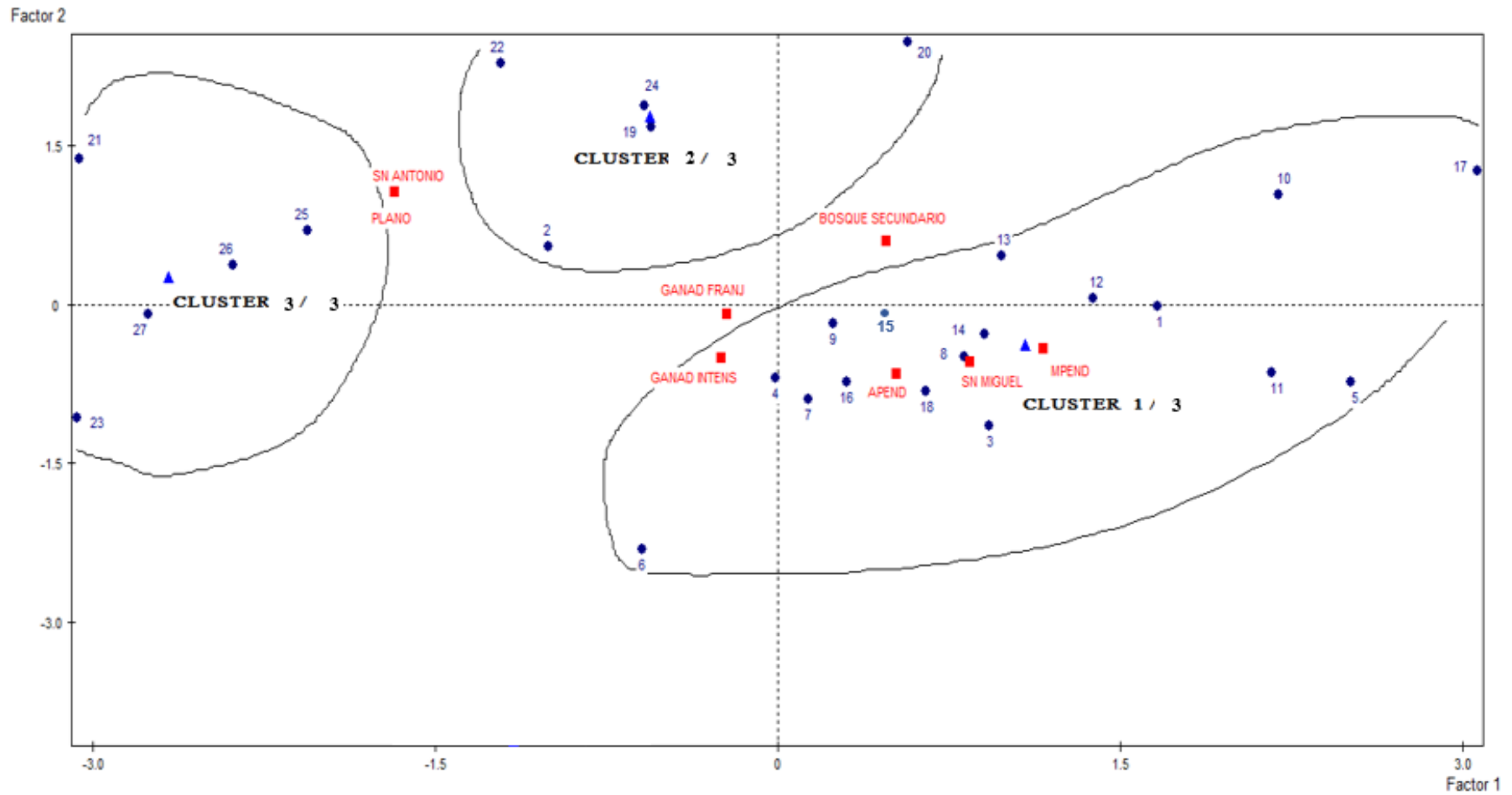
Fuente. (Lobo & Pulido, 2013)

Los suelos de este grupo, presentan una estabilidad estructural de 4.88%, que según la tabla de estimativos anterior, presenta un valor >1 y se califica como excelente, es decir que los suelos de este grupo, que hacen parte de la zona plana, podrían ser más resistentes a la disgregación de partículas.

De acuerdo con Siavosh, Rivera & Gómez (2000) ,estos valores son el producto del alto contenido de materia orgánica que se presentan en los suelos de estudio, el cual guarda proporción directa con la estabilidad estructural, por lo anterior, los suelo con niveles más altos de materia orgánica desarrollan agregados de mayor tamaño y por consiguiente mejores características.

Así mismo la característica que se destaca en esta pendiente al tener una excelente estabilidad estructural, se encuentra presente del mismo modo en los suelos de las fincas pertenecientes a los grupos (I) y (II) ubicados en las pendientes altas y plana, respectivamente.

Gráfica 6. Distribucion de grupos Profundidad 15 - 30 cm.



Estos tres grupos se encuentran ilustrados la Grafica 6, en el donde se puede observar la distribución de las 27 unidades experimentales (fincas) con cada uno de sus sistemas de manejo y su respectiva ubicación referente a la pendiente. Con esta figura se puede determinar la relación que existe entre algunas fincas con respecto a las variables que predominan en cada una de ellas, siendo estas las que se encuentran más cercanas una de la otra y se aproximan al origen, a partir de este criterio se puede deducir además que en el grupo (I) se encuentra más asociado a un sistema convencional ubicados entre las pendientes alta y media, en el grupo (II) predomino el tratammiento testigo Bosque secundario y en el grupo (III) el sistema en franjas ubicados estos dos ultimos en la pendiente plana.

PROPIEDADES QUIMICAS.

7.2.6. Analisis multivariado para las propiedades químicas a una profundidad de 30 cm.

Tabla 27 Matriz de correlaciones múltiples entre las propiedades químicas.

Nº	Variable	Total Und. Expe.	Valor Promedio	Desviación estándar	Valor Mín.	Valor máx.
1	pH, Potenciómetro	27	4.96	0.30	4.36	5.49
2	Materia Orgánica (%)		19.63	6.66	6.76	32.20
3	Fósforo disponible (mg/kg)		16.49	13.00	3.37	54.20
4	Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) (cmol /kg ⁻¹)		41.76	15.36	20.10	65.60
5	Calcio de Cambio (cmol /kg ⁻¹)		2.59	2.16	0.45	7.24
6	Magnesio de Cambio (cmol /kg ⁻¹)		0.63	0.49	0.20	1.97
7	Potasio de Cambio (cmol /kg ⁻¹)		0.33	0.17	0.07	0.76
8	Aluminio de Cambio (cmol /kg ⁻¹)		4.10	11.41	0.53	61.90
9	Hierro Disponible (mg/kg)		250.33	77.71	120.00	376.00
10	Manganeso Disponible (mg/kg)		19.49	29.84	0.47	123.00
11	Cobre Disponible (mg/kg)		0.61	0.72	0.06	3.62
12	Zinc Disponible (mg/kg)		0.45	0.43	0.00	1.66
13	Boro Disponible (mg/kg)		0.22	0.22	0.01	1.21
14	Nitrógeno Total (%)		0.60	0.14	0.26	0.78
15	Carbono Orgánico (%)		11.39	3.86	3.92	18.70
16	Azufre Disponible (mg/kg)		10.86	5.92	2.69	28.20
17	Ca:Mg		4.06	1.87	1.33	8.00
18	Mg:K		1.93	1.01	0.73	5.00
19	K:Mg		0.64	0.28	0.20	1.37
20	Ca:K		7.82	5.58	2.06	27.00
21	(Ca+Mg)/K		9.75	6.26	3.25	31.32

Según las Tabla 27 se muestran las veinte un (21) variables más significativas arrojadas por el sistema estadístico utilizado, las cuales fueron evaluadas en cada una de las veinte siete (27) unidades experimentales (fincas) en las tres pendientes y los tres sistemas de manejo.

7.2.7. Correlaciones multiples entre variables evaluadas a profundidad de 30 cm.

Tabla 28. correlaciones multiples de las variables quimicas evaluadas a las profundidad de 30 cm.

Matriz de Correlación	pH	M.O (%)	P disp. mg/kg	CIC (cmol /kg ⁻¹)	Ca Cam (cmol /kg ⁻¹)	Mg de Cam (cmol /kg ⁻¹)	K de Cam. (cmol /kg ⁻¹)	Al de Cam. (cmol /kg ⁻¹)	Fe disp. mg/kg	Mn Disp. mg/kg	Cu Disp. mg/kg	Zn disp. mg/kg	B disp. mg/kg	N.T (%)	CO (%)	S Disp. Mg/kg	Ca:Mg	Mg: K	K:Mg	Ca:K	(Ca+Mg)/K
pH	1																				
M.O (%)	-0.04	1																			
P disp. (mg/kg)	-0.32	-0.44	1																		
CIC (cmol /kg ⁻¹)	0.31	0.82	-0.55	1																	
Ca Cambio (cmol /kg ⁻¹)	-0.09	-0.59	0.64	0.58	1																
Mg de Cambio (cmol /kg ⁻¹)	-0.16	0.65	0.62	-0.65	0.78**	1															
K de Cambio (cmol /kg ⁻¹)	-0.27	-0.54	0.78**	-0.54	0.58	0.65	1														
Al de Cambio (cmol /kg ⁻¹)	0.11	0.33	-0.14	0.30	-0.22	-0.21	-0.20	1													
Fe Disponible (mg/kg)	-0.65	-0.33	0.64	-0.73**	0.42	0.47	0.54	-0.18	1												
Mn Disponible (mg/kg)	-0.13	-0.64	0.40	-0.59	0.69	0.82*	0.38	-0.16	0.33	1											
Cu Disponible (mg/kg)	0.33	-0.50	0.46	-0.29	0.58	0.68	0.45	-0.09	-0.03	0.51	1										
Zn Disponible (mg/kg)	0.36	-0.22	0.39	0.05	0.48	0.39	0.40	-0.02	-0.23	0.13	0.74**	1									
B Disponible (mg/kg)	-0.50	0.33	0.34	0.07	-0.06	-0.10	0.22	-0.01	0.26	-0.10	-0.30	-0.16	1								
N Total (%)	0.02	0.98**	-0.44	0.81**	-0.59	-0.70**	-0.55	0.28	-0.34	-0.72**	-0.56	-0.21	0.32	1							
C. O (%)	-0.04	1.00**	-0.44	0.82**	-0.59	-0.65	-0.54	0.33	-0.33	-0.65	-0.50	-0.22	0.33	0.98**	1						
S Disponible (mg/kg)	-0.67	0.15	0.41	-0.43	0.20	0.10	0.44	-0.06	0.62	0.12	-0.19	-0.20	0.53	-0.16	-0.15	1					
Ca:Mg	-0.07	-0.11	0.13	-0.19	0.53	0.03	0.09	-0.09	0.14	0.08	0.00	0.14	0.07	-0.06	-0.11	0.30	1				
Mg:K	-0.02	-0.49	0.12	-0.45	0.51	0.69	-0.01	-0.18	0.19	0.77**	0.34	0.06	-0.27	-0.53	-0.49	-0.16	-0.01	1			
K:Mg	0.08	0.33	-0.19	0.41	-0.51	-0.56	0.10	0.16	-0.21	-0.56	-0.36	-0.14	0.17	0.36	0.34	0.11	-0.07	-0.85**	1		
Ca:K	-0.03	-0.42	0.16	-0.39	0.77**	0.43	0.04	-0.17	0.18	0.62	0.23	0.12	-0.14	-0.42	-0.42	0.09	0.69	0.63	-0.62	1	
(Ca+Mg)/K	-0.03	-0.45	0.16	-0.42	0.77**	0.50	0.03	-0.18	0.19	0.68	0.26	0.12	-0.17	-0.46	-0.45	0.06	0.61	0.72	-0.68	0.99**	1

De acuerdo a la Tabla 28, las correlaciones que representa las variables químicas tomadas las muestras en campo a una profundidad de 30 cm, se pudo determinar una alta correlación directamente proporcional de la variable materia orgánica con respecto a nitrógeno total y carbono orgánico con valores de 0.98 y 1.00, respectivamente, al respecto el Instituto Colombiano Agropecuario ICA (1981) afirma que la materia orgánica es fuente principalmente de nitrógeno (N), fósforo (P), azufre (S) y algunos elementos menores, además mejora las propiedades físicas del suelo, aumenta la capacidad amortiguadora, y tiene gran influencia sobre la capacidad de intercambio catiónico (CIC).

De igual manera mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, los suaviza; permite una aireación adecuada; aumenta la porosidad, la infiltración de agua, y eleva la capacidad de amortiguación o poder buffer, entre otros; se considera una importante fuente de nutrientes, a través de los procesos de descomposición con la participación de bacterias y hongos, especialmente (Jimenez, Evaluación de la fertilidad del suelo, 1993).

La principal entrada de nitrógeno se da por fijación biológica que consiste en capturar nitrógeno del aire en forma de N_2 y transformarlo en $NH_3 - NH_4^+$, para que sea absorbido por las plantas, el mayor reservorio de nitrógeno en el suelo se encuentra en los microorganismos que lo habitan: bacterias, hongos y nematodos, cuya presencia se encuentra relacionada con la cantidad de materia orgánica presente en el suelo ya que esta se constituye en su fuente de alimentación (Briseño *et al.*, 2004).

Del mismo modo se establece una correlación entre la materia orgánica con el carbono orgánico de forma directamente proporcional con un valor de 1.00, lo que quiere decir que estas dos variables tienen una correlación altamente significativa, pues según Rosell (1999), se conoce como materia orgánica del suelo (MOS) a un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y/o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo, donde el carbono orgánico del suelo (COS) es el principal elemento que forma parte de la MOS.

La materia orgánica del suelo (MOS) es un elemento clave porque regula muchas de las funciones del mismo, incluyendo el almacenamiento de carbono como carbono orgánico del suelo (COS), incrementa la disponibilidad y ciclo de los nutrientes de las plantas, la biodiversidad del suelo, la porosidad, aireación, capacidad de retención de agua y conductividad hídrica del suelo, las propiedades térmicas y resistencia mecánica (Rosell, 1999).

El carbono orgánico del suelo es la cantidad de carbono que contienen los compuestos orgánicos. El COS es uno de los principales indicadores para determinar la calidad del suelo, y su efecto positivo sobre la sustentabilidad de los sistemas productivos ha sido ampliamente documentado Martínez *et al.*, (2008). El

COS afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su calidad, sustentabilidad y capacidad productiva. Favorece la agregación del suelo y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso, afectando diversas propiedades físicas, como humedad aprovechable, capacidad de aire y movimiento de agua y gases. Además interviene en las propiedades químicas del suelo, aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de buffer sobre la reacción del suelo.

Al igual, el fósforo disponible (P) presenta una relación positiva frente al potasio de cambio (K) con un valor de 0.78, donde el fósforo y el potasio son dos de los tres macronutrientes (el otro es nitrógeno) requeridos por las plantas para un crecimiento óptimo y que según Cross (1971), la disponibilidad de fósforo en los suelos está regulada por procesos químicos y biológicos. En la mayoría de los ecosistemas naturales, los procesos químicos determinan su distribución en el largo plazo, pero, en el corto tiempo, influyen preferentemente los procesos biológicos, ya que el fósforo asimilable por la planta deriva de la materia orgánica.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas contienen muy altas cantidades de fósforo si se comparan con otros suelos, la concentración del fósforo en la solución del suelo es importante en la nutrición vegetal debido a que las raíces de las plantas absorben fósforo de esta solución. El movimiento del fósforo hacia las raíces por difusión para reemplazar al que ha sido tomado por las plantas, es dependiente del gradiente de concentración de fósforo (Cross, 1971).

Según Duarte (2003), el fósforo (P) es imprescindible en los procesos reproductivos y metabólicos de las plantas, animales y microorganismos, además una concentración adecuada es crucial en la producción agrícola; el uso de materia orgánica y la acción de microorganismos son factores de mejoramiento de su disposición en diferentes tipos de suelos, encontrándose que la disposición misma de la materia orgánica libera ácidos orgánicos que a su vez disuelven fosfatos cálcicos y roca fosfórica.

El P y el K son esenciales en la fotosíntesis, en las enzimas y las reacciones que requieren de energía, en la formación y calidad de semilla, tolerancia al estrés, madures del cultivo, formación de raíz, etc. La investigación de campo ha mostrado muchos casos de la interacción P/K. Estos, muestran los beneficios económicos y agronómicos cuando se elimina la deficiencia de P y K como factores limitantes de la producción (Hartt, 1929).

Con respecto a la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), esta variable presenta correlación inversamente proporcional con el hierro (Fe^{+3}) disponible con un valor de -0.73 y una correlación altamente significativa de forma directa con el Nitrógeno total (N_2) y el Carbono orgánico (CO) con valores de 0.81 y 0.82, respectivamente, con respecto a ello cabe resaltar que según (Salamanca Sanabria, 1984), la CIC es considerada como una de las más importantes propiedades químicas de los suelos

ya que al estar estrechamente relacionada con la fertilidad del mismo, debido a que permite la absorción de cationes fácilmente intercambiables por la acción de grandes cantidades de arcillas (coloides inorgánicos) y materia orgánica (coloides orgánicos). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es un indicador indirecto de la capacidad amortiguadora de los suelos.

La materia orgánica es de importancia para el suelo, no solo como fuente de nutrientes, sino también porque aumenta la capacidad de intercambio catiónico Jorge (1986). La CIC, es una propiedad química del suelo estrechamente vinculada a su fertilidad, depende de los coloides inorgánicos (arcillas cristalinas, geles amorfos, óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio) y del contenido de MOS. La mayoría de los suelos tienen una carga permanente y otra carga que varía con el pH Krull *et al.*, (2004), observándose un aumento de la CIC con el pH Tan y Dowling, (1984). La materia orgánica tiene una CIC alta, por lo que los suelos con un alto contenido de materia orgánica presentan por lo general una CIC mayor que la de los suelos con un bajo contenido de materia orgánica.

El hierro es un micronutriente esencial para las plantas, su dinámica está gobernada por la cantidad y tipo de arcilla y la materia orgánica Sierra (2017). La carga de algunos de los componentes del suelo que contribuyen a la CIC se ve afectada por el pH del suelo, y es por esto que la MOS tiene grupos carboxílicos y fenólicos que se comportan como ácidos débiles y tienden a disminuir el pH del suelo (Carrasco, 1992).

En cuanto a las variables calcio de cambio (Ca), presenta una correlación directamente proporcional con respecto a magnesio de cambio (Mg), relación Ca:K y la relación (Ca+Mg)/K con valores de 0.78, 0.77 y 0.77 respectivamente. De acuerdo a estas relaciones se establece que según (Parra, 2003) el calcio y magnesio tienen un comportamiento muy similar en el suelo y estos dos elementos son los que se encuentran generalmente en niveles más altos. La concentración y la disponibilidad de ambos elementos están controladas generalmente por la capacidad de intercambio catiónico de manera directa.

En lo referente al potasio asimilable, este representa la disponibilidad que existe en los suelos de este nutriente para las plantas. Los contenidos de potasio intercambiable al igual que las reservas de fósforo muestran valores adecuados para las plantas Montecinos (2014). El potasio es un macronutriente absorbido por las plantas en grandes cantidades, siendo superado sólo por el N y, a veces por el Ca. Es el nutriente que menores problemas de disponibilidad presenta, ya que, en general, la provisión de este elemento en los suelos es aceptable. A diferencia del fósforo (o del azufre y por extensión del nitrógeno), el potasio está presente en la solución del suelo solamente como un catión cargado positivamente, K⁺ (Montecinos, 2014).

De acuerdo con León (1994), en general se puede decir que los contenidos muy altos de Ca^{2+} y Mg^{2+} disminuyen la absorción del K^+ y que los niveles elevados de K^+ pueden llegar a agravar la deficiencia de Mg^{2+} . Pese a lo expuesto se debe resaltar que las plantas tienen una capacidad de adaptación bastante grande y solo en condiciones de relaciones extremas serían afectadas en su crecimiento. El contenido de bases intercambiables (Ca, Mg y K) define en gran parte el grado de fertilidad del suelo, especialmente el de los dos primeros. Los suelos fértiles se distinguen porque tienen altos contenidos de Ca y Mg, mientras que los suelos muy ácidos generalmente presentan deficiencias de Ca y Mg. Entre más alto el contenido de Ca y Mg, mejor es la fertilidad del suelo (Bertsch, 1986).

De la misma manera Rodríguez (2006), menciona que el Calcio y Magnesio tienen un comportamiento muy similar en el suelo y estos dos elementos son los que se encuentran generalmente en niveles más altos. La concentración y la disponibilidad de ambos elementos están controladas generalmente por la Capacidad de Intercambio Catiónico de manera directa. Por lo tanto, al tener una CIC alta, permite una mayor disponibilidad de nutrientes disueltos en el suelo.

La variable Mg tiene una correlación directamente proporcional con manganeso disponible (Mn) con un valor de 0.82 e indirectamente proporcional con nitrógeno total (N_2) con un valor de -0.70; la variable manganeso disponible, tiene una correlación inversamente proporcional con nitrógeno total con un valor de -0.72.

Según Loué (1998) y Fageria *et al.*, (2002), las principales condiciones del medio que favorecen la deficiencia del Mn son: suelos orgánicos ricos en materia orgánica. Las relaciones de equilibrio que deben guardar el Ca, Mg y K son esenciales para una buena asimilación de nutrientes en la planta Turner & Bull (1970). El estado del magnesio (Mg) del suelo depende de su dinámica química controlada por varios factores, tales como el clima, el pH del suelo, la temperatura, la humedad y su interacción con otros cationes (Bayon, 2012).

Por último se presenta una correlación entre la variable cobre disponible (Cu) con zinc disponible (Zn) con un valor de 0.74 y la variable nitrógeno total con carbono orgánico con un valor positivo de 0.98.

El cobre en el suelo no siempre se encuentra totalmente disponible para su absorción por las plantas, debido a que puede estar formando complejos insolubles con la materia orgánica, con arcillas o con aniones como CO y S, dependiendo de características del suelo tales como el pH, la capacidad de intercambio de cationes y la presencia de materia orgánica (Krauskopf, 1983).

El factor más importante en la acumulación del cobre en el suelo es la materia orgánica ya, que esta tiene la cualidad de formar y combinarse en formas estables con el cobre. Numerosos componentes orgánicos están involucrados en el proceso, incluyendo los ácidos húmicos y fúlvicos, los últimos considerados como los más

activos Cheam (1973). Las altas concentraciones de cobre, además de interferir en la absorción y utilización del hierro en la planta, también pueden afectar a otros elementos como fósforo y zinc (Moore *et al.*, 1957).

De acuerdo Stevenson (1982), la otra reserva importante de N es la materia orgánica del suelo (MOS). Debido al incremento de las concentraciones de materia orgánica, Ouédraogo & Zombré (2001), mencionan como ventaja que mantienen los niveles de fertilidad y productividad, conservan el nitrógeno (N) y el carbono (C) en el sistema suelo-planta.

Además se aprecia que tal y como se reporta en las investigaciones Benintende *et al.*, (2008) sobre el comportamiento del N total en el suelo en función de la profundidad, éste disminuye hasta 80% a medida que se incrementa la profundidad, independientemente del tipo de manejo, debido a que la capa superficial es la más influenciada por las adiciones de N derivadas de los residuos orgánicos que se incorporan.

En el largo plazo, el aumento de pH podría explicarse por la liberación por mineralización de las bases de cambio contenidas en los compuestos orgánicos y por el contenido inicial de N (Benintende *et al.*, 2008).

La CIC total de un suelo puede aumentarse por la adición de materia orgánica. Aunque este aumento sólo se va a notar en los primeros centímetros del suelo puede en algunas ocasiones aumentar considerablemente la producción del cultivo.

7.2.8. Componentes principales (30 cm).

El análisis de componentes principales se trabajó con los promedios resultantes de las repeticiones en cada tratamiento, es así como se obtuvieron 21 variables físicas y a las dos profundidades evaluadas.

Tabla 29. Matriz de componentes principales (30cm)

N	Valor propio	Porcentaje % F1	Porcentaje acumulado % F2	
1	8.6765	41.32	41.32	*****
2	3.4938	16.64	57.95	*****
3	2.5250	12.02	69.98	*****
4	1.8608	8.86	78.84	*****
5	1.3907	6.62	85.46	*****
6	0.8996	4.28	89.74	*****
7	0.5589	2.66	92.41	*****
8	0.4111	1.96	94.36	****
9	0.3732	1.78	96.14	****
10	0.2418	1.15	97.29	***
11	0.1736	0.83	98.12	**
12	0.1512	0.72	98.84	**
13	0.0929	0.44	99.28	*
14	0.0607	0.29	99.57	*
15	0.0460	0.22	99.79	*
16	0.0212	0.10	99.89	*
17	0.0115	0.05	99.94	*
18	0.0064	0.03	99.97	*
19	0.0053	0.03	100.00	*
20	0.0000	0.00	100.00	*
21	0.000	0.00	100.00	*

Según a la Tabla 29 se muestra el histograma de los primeros 21 valores propios donde el primer componente (F1) y el segundo componente (F2) representan el 41.32% y el 16.64%, respectivamente representando así el 57.95% de la variabilidad total explicada.

7.2.9. Análisis de variables activas (30 cm).

El análisis de componentes principales permitió conocer el aporte de cada una de las variables más significantes en base al análisis estadístico, seleccionando un total de dos factores o componentes para cada una de las profundidades.

Tabla 30. Variables activas 30 cm

Variables	Componente	
	F1	F2
pH, Potenciómetro	-0.15	-0.77
Materia Orgánica (%)	-0.85	0.07
Fósforo disponible (mg/kg)	0.63	0.48
Capacidad Intercambio Catiónico (CIC) (cmol /kg ⁻¹)	-0.82	-0.30
Calcio de Cambio (cmol /kg ⁻¹)	0.88	-0.02
Magnesio de Cambio (cmol /kg ⁻¹)	0.88	-0.01
Potasio de Cambio (cmol /kg ⁻¹)	0.60	0.49
Aluminio de Cambio (cmol /kg ⁻¹)	-0.32	-0.08
Hierro Disponible (mg/kg)	0.52	0.70
Manganeso Disponible (mg/kg)	0.84	-0.11
Cobre Disponible (mg/kg)	0.61	-0.37
Zinc Disponible (mg/kg)	0.32	-0.33
Boro Disponible (mg/kg)	-0.15	0.70
Nitrógeno Total (%)	-0.86	0.07
Carbono Orgánico (%)	-0.85	0.07
Azufre Disponible (mg/kg)	0.24	0.82
Ca:Mg	0.29	0.07
Mg:K	0.69	-0.38
K:Mg	-0.60	0.33
Ca:K	0.67	-0.25
(Ca+Mg)/K	0.71	-0.29

Según la Tabla 30 de Variables activas, se muestra una regresión múltiple que tienen los componentes F1 y F2 en el aporte de cada una de las variables,

mostrando la conformación de cada componente: el componente F1 se conforma por las variables de materia orgánica (%), capacidad de intercambio catiónico (CIC) cmol^+/Kg , calcio de cambio (Ca) cmol^+/Kg , magnesio de cambio (Mg) cmol^+/Kg , nitrógeno total (N_2) % y % de carbono orgánico (CO) con valores de -0.85, -0.82, 0.88, 0.88, -0.86, -0.85 respectivamente y, el componente F2 se conforma por las variables pH (potencial de hidrógeno) y azufre disponible (S), con valores de -0.77 y 0.82, respectivamente.

Debido a la conformación anteriormente mencionada para cada componente, es importante resaltar el papel que cumplen estas variables químicas en el suelo con respecto a la zona de estudio:

La materia orgánica del suelo contiene cerca del 5% de N_2 tota, pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes.(Graecen, 1986)

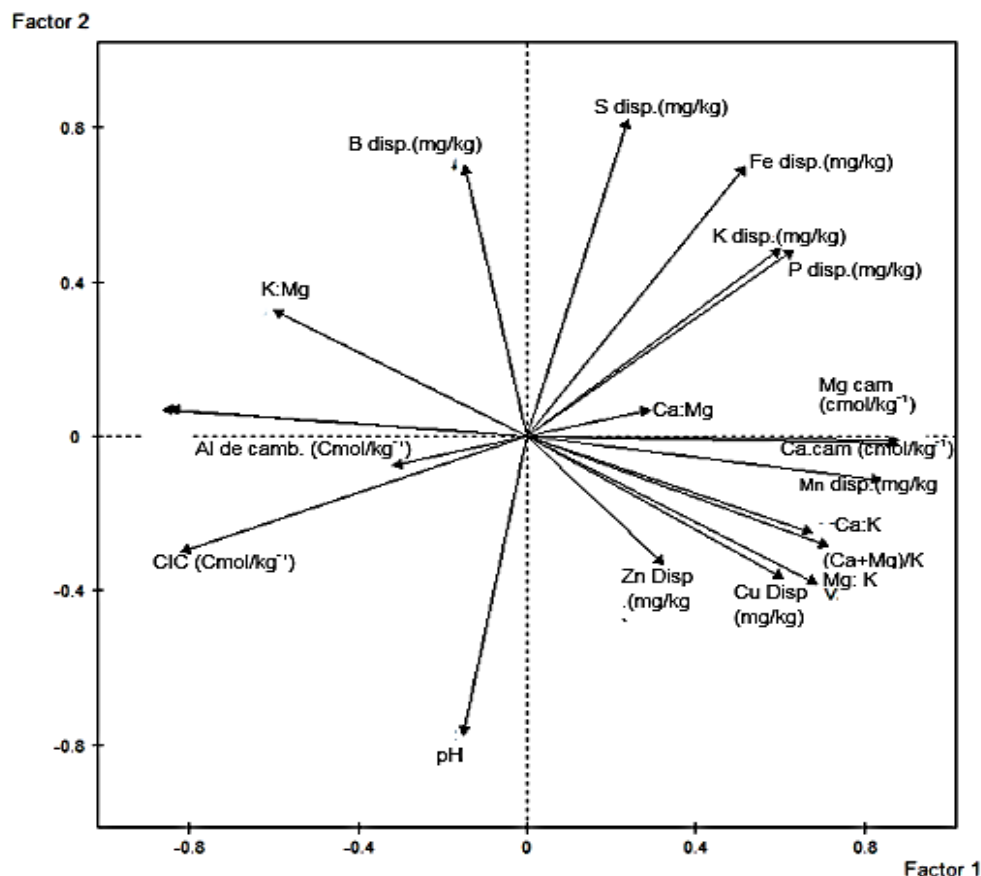
Cuando se refiere al efecto sobre las propiedades químicas del suelo, los autores mencionan que aumenta la capacidad de cambio del suelo, la reserva de nutrientes para la vida vegetal y la capacidad tampón del suelo favorece la acción de los abonos minerales y facilita su absorción a través de la membrana celular de las raicillas. Y en cuanto a su efecto sobre las propiedades biológicas, favorece los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, sirve de alimento a una multitud de microorganismos y estimula el crecimiento de la planta en un sistema ecológico equilibrado. Estos efectos de la materia orgánica también han sido sugeridos por otros autores (Graecen, 1986)

De la misma manera de acuerdo a Zagal *et al.* (2002), la materia orgánica del suelo (MOS), aunque no es su componente más abundante, en la mayoría de los suelos, sí es el más importante en todos debido a la gran actividad físico-química y biológica que genera y que controla en el mismo, al igual según Mendonça & Rowell (1994). La MOS se presenta de varias formas; una es la asociada a los cationes intercambiables del suelo.

Dentro del componente (F2), se resalta la importancia de los variables pH (potenciales de hidrógeno) y azufre disponible (ppm), en donde el azufre al ser aplicado al suelo está sujeto a oxidación microbológica, a través de la cual se transforma a sulfato en condiciones aeróbicas, lo que conduce a una disminución del pH del suelo Brady y Weil (1999).

A continuación se muestra en la gráfica 7 Los valores correspondientes a las variables que integran a cada uno de los componentes.

Gráfica 7. Variables activas segundo biplot a profundidad de 30 cm



En el biplot (Grafica 7), se encuentran representados los dos componentes principales Factor 1 (F1) y Factor 2 (F2) con las variables que los conforman, en donde se observa una asociación lineal directa en las variables referidas a La relación Ca:Mg, fósforo disponible (mg/Kg), potasio de cambio (cmol+/Kg), hierro disponible (mg/Kg), azufre disponible (mg/Kg) ubicadas en el cuadrante uno (I), del mismo modo existe una asociación directa entre las variables magnesio de cambio (cmol+/Kg), calcio de cambio (cmol+/Kg), manganeso disponible (mg/Kg), relación Ca:K, relación (Ca+Mg)/K, relación Mg:K, cobre disponible (mg/Kg), zinc disponible (mg/Kg) ubicadas en el cuadrante cuatro (IV) estando altamente relacionadas (ángulo pequeño/misma dirección).

En el cuadrante (II) las variables boro disponible (mg/Kg) y relación K:Mg no presentan mucha relación entre ellas, mientras que las variables nitrógeno total (%), carbono orgánico (%) y materia orgánica (%), están estrechamente relacionadas formando un solo vector hacia una mismas dirección, pues a medida que aumente el contenido de materia orgánica en el suelo también aumentan los contenidos de las variables en mención.

Finalmente en el cuadrante (III), las variables que presentan mayor relación entre ellas son el aluminio de cambio (cmol+/Kg) y capacidad de intercambio catiónico (cmol+/Kg), siendo estos directamente proporcionales; del mismo estas variables se relacionan de una manera no tan significativa pH, pero que interfieren en su contenido de las mismas en el suelo.

7.2.10. Análisis de conglomerado para la profundidad a 30 cm.

Con el fin de agrupar los suelos con base en sus variables químicas, evaluadas en las unidades experimentales (27 fincas) con diferentes sistemas de manejo y valorados en 3 pendientes, se realizó el análisis de conglomerados a partir de los componentes principales seleccionados (Tabla 31 y grafica 8)

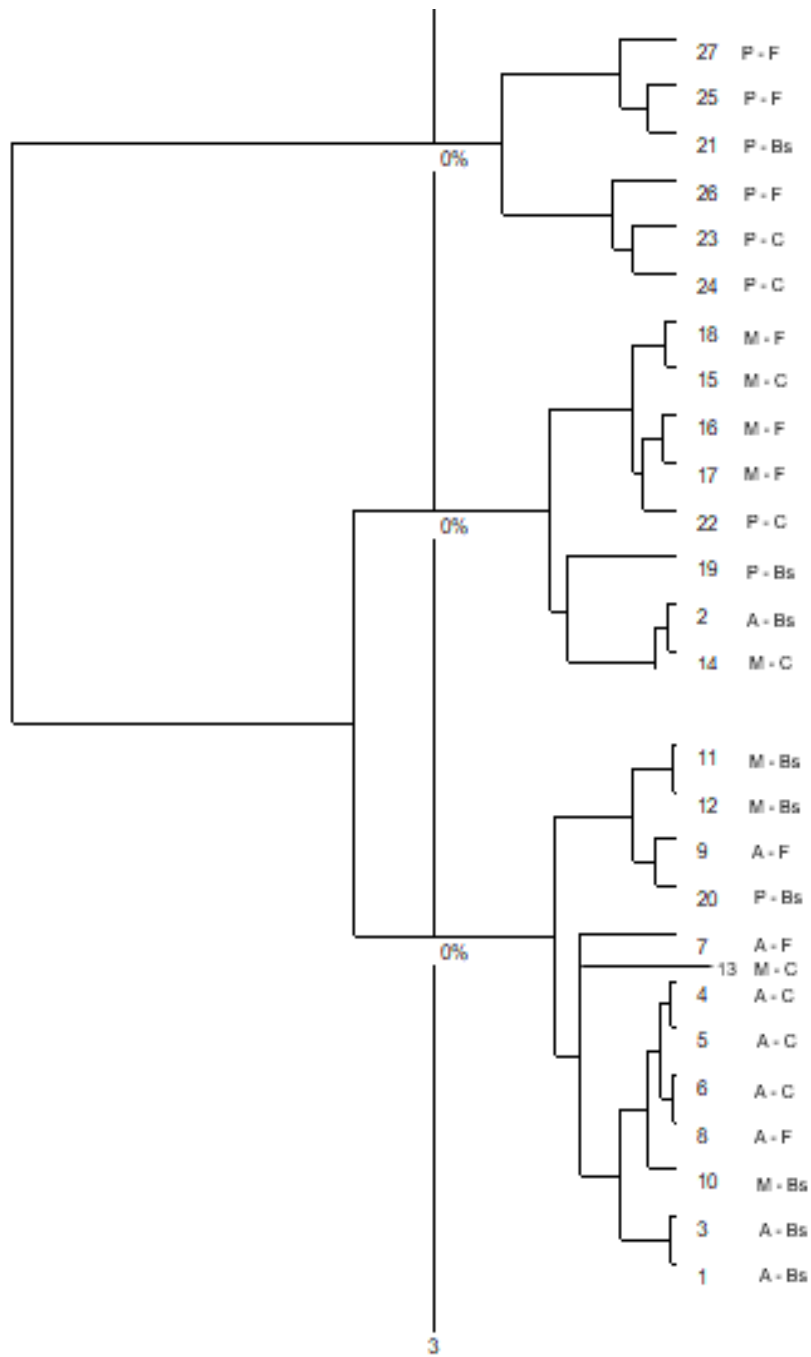
Tabla 31. Identificación de los suelos que conforman cada uno de los tres grupos que constituyen el análisis de clasificación.

GRUPO	Nº DE FINCAS	FINCAS	PORCENTAJE (%)
I	13	1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 20	48.14
II	8	2 14 15 16 17 18 19 22	29.62
III	6	21 23 24 25 26 27	22.22

De acuerdo a la tabla anterior, en el grupo I se encuentran 13 fincas, las cuales son 1 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 20, en el grupo II, se encuentran 8 fincas, las cuales son 2 14 15 16 17 18 19 22, finalmente en el grupo III, se encuentran 6 fincas, las cuales son 21 23 24 25 26 27 que representan que representan 48.14%, 29.62% y 22.22% de la totalidad de unidades experimentales respectivamente.

Análisis de clúster (grupo) jerárquico de propiedades químicas a profundidad de 30 cm

Gráfica 8. Dendograma de clúster para propiedades químicas (30 cm)



ZONA	SISTEMA DE MANEJO
A: alta	Bs: bosque secundario
M: media	F: ganadería en franjas, cerca eléctrica
P: plana	C: ganadería convencional

En la grafica 8 se presenta el dendograma conformado por tres grupos, donde el primer (I) grupo está integrado por las fincas 1, 3, 10, 8, 6, 5, 4, 7, 20, 9, 12, 11 y 13 fueron evaluadas a una profundidad de 30 cm, en las cuales se encontraron distribuidas los siguientes sistemas: dentro las fincas ubicadas en la pendiente alta están las fincas 1 y 3 el tratamiento bosque secundario, en las fincas 8, 7 y 9 el sistema en franjas con cerca eléctrica y en las fincas 6, 5 y 4 el sistema convencional. En las fincas 12 y 11 el tratamiento testigo bosque secundario, en la finca 13 el sistema convencional, todas estas ubicadas en la pendiente media y en la fina 20 un tratamiento testigo bosque secundario ubicado en la pendiente plana. En el grupo (II) se encenbran las fincas 14, 2, 19, 22, 17, 16, 15 y 18 en las cuales se encontraron distribuidas los siguientes sistemas: dentro de las fincas 14 y 15 el sistema convencional, en las fincas 16, 17, y 18 el sistemas en franjas con cerca eléctrica, estando estas ubicadas en la pendiente media; la finca 19 con tratamieto testigo bosque secundario y las finca 22 con sistemas convencional, ubicadas en la pendiente plana y la finca 2 con tratamiento testigo bosque secundario ubicada en la pendiente plana. En el grupo (III) se encuentran las fincas 24, 23, 26. 21, 25 y 27, en las cuales se encuentran distribuidos los siguientes sistemas: en la finca 2 y 24 el sistema convencional, en las fincas 25, 26 y 27 el sistema en franjas con cerca eléctrica y en la finca 21 el tratamiento testigo bosque secundario, ubicados en la pendiente plana. Para un total de 27 unidades experimentales (fincas).

Clúster (Grupo) I/III

Tabla 32. caracterización de variables continuas grupo I.

GRUPO	Nº DE FINCAS	VARIABLE	VALOR PROMEDIO	VALOR GENERAL
I	13	Capacidad de intercambio catiónico CIC (meq/100g)	55.95	41.76
		Carbono orgánico (%)	13.87	11.39
		Materia orgánica (%)	23.92	19.63
		Nitrógeno total (%)	0.69	0.60
		Azufre disponible (ppm)	7.44	10.86
		Manganeso disponible (ppm)	2.19	19.49
		Calcio de cambio (meq/100g)	1..20	2.59
		Magnesio de cambio (meq/100g)	0.30	0.63
		Potasio de cambio (meq/100g)	0.21	0.33
		Fosforo disponible (ppm)	7.04	16.49
		Hierro disponible (ppm)	180.92	250.33

El grupo (I), se encuentra conformado por las fincas 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 Y 13 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las fincas 1 y 3, fueron evaluadas mediante el sistema de bosque secundario (Testigo), las fincas 7, 8 y 9, fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica, las fincas 4, 5 y 6 valoradas con el sistema de ganadería convencional. Las fincas anteriormente mencionadas hacen parte de la zona alta del área de estudio. Este grupo también lo conforman las fincas 10, 11 y 12 evaluadas bajo el sistema bosque secundario (Testigo), la finca 13 evaluada con el sistema de ganadería convencional, que igualmente hace parte de la zona media, y finalmente la finca 20 evaluada con el sistema de bosque secundario (Testigo), que hace parte de la zona plana, dando así un total de 13 unidades experimentales, representando el 48.14% del total de fincas evaluadas. Cabe resaltar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona alta del área de estudio y la que tuvo menos presencia fue la zona plana, representada por una unidad experimental. De igual manera el sistema más representativo fue el de bosque secundario y el menos representativo fue el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica.

En este grupo se resaltan las siguientes propiedades químicas: capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol/kg^{-1}), con valores de 41.76 – 55.95 cmol/kg^{-1} , carbono orgánico (%), con valores de 11.39 – 13.87 %, materia orgánica (%) con valores de 19.63 – 23.92 %, nitrógeno total (%) con valores de 0.60 – 0.69 %, azufre disponible (mg/Kg) con valores de 10.86 – 17.44 mg/Kg , manganeso disponible (mg/Kg) con valores de 19.49 – 2.19 mg/Kg , calcio de cambio (cmol/kg^{-1}) con valores de 2.59 – 1.20 cmol/kg^{-1} , magnesio de cambio (cmol/kg^{-1}), con valores de 0,63 – 0,30 cmol/kg^{-1} , potasio de cambio (cmol/kg^{-1}), con valores de 0.33 – 0.21 cmol/kg^{-1} , fósforo disponible (mg/Kg) con valores de 16.49- 7.04 mg/Kg , y hierro disponible (mg/Kg), con valores de 250.33 – 180.92 mg/Kg . En las cuales el primer valor mencionado corresponde al valor general y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran.

Tabla 33. Estándares generales para interpretar análisis de suelos con fines agrícolas

pH	APRECIACIÓN	% M.O.			P(ppm)		Ca		Mg		K		Na		CIC cmol.kg ⁻¹	S (ppm)	ELEMENTOS MENORES (ppm)					CE (ds.m ⁻¹)
		C.F	C.M	C.C	Bray II	Olsen	cmol.kg ⁻¹	%Sat	cmol.kg ⁻¹	%Sat	cmol.kg ⁻¹	%Sat	cmol.kg ⁻¹	%Sat			B	Mn	Cu	Zn	Fe	
< 4,5 Extremadamente ácido	Muy bajo				< 10	< 8	< 2		< 0,5		< 0,2				< 5						< 0,5	
4,5 - 5,0 Muy fuertemente ácido	Bajo	< 5	< 3	< 1,5	10-20	8-16	2-3	< 30	0,5-1,2	< 15	0,2-0,4	< 2	< 0,1	< 7	5-10	< 8	< 0,3	< 5	< 2	< 3	< 50	0,5-1
5,1 - 5,5 Fuertemente ácido	Medio	5-10	3-5	1,5-3	>20-40	>16-35	>3-6	30-60	>1,2-1,8	15-25	>0,4-0,6	2-3	0,1-0,5	7-15	>10-20	8-16	0,3-0,6	5-10	2-4	3-6	50-100	>1-2
5,6 - 6,0 Moderadamente ácido	Alto	>10	>5	>3	>40	>35	>6	>60	>1,8	>25	>0,6-1	>3	>0,5	>15	>20	>16	>0,6	>10	>4	>6	>100	>2
6,1 - 6,5 Ligeramente ácido	APRECIACIÓN	RELACIONES (Balance de bases)						APRECIACIÓN	DIAGNÓSTICO PROBLEMAS DE ACIDÉZ				CONTROL DE ACIDÉZ Y MEJORAMIENTO QUÍMICO INTEGRAL									
6,6 - 7,3 Neutro		Ca:Mg	Mg:K	K:Mg	Ca:K	(Ca+Mg) K	pH		Al (me)	Al (%)	ΣCa-Mg-K	CaCO ₃	Combinación materiales de encalado (t.ha ⁻¹) (Relación porcentual)									
7,4 - 7,9 Alcalino calcáreo	Relación Ideal	3-5	6-8	0,2-0,3	12-18	12-20	Alto	4,5	>2,5	>40	<5	1	0,69	0,18	0,20							
>7,9 - 8,4 Moderadamente alcalino (Na)	K Deficiente		>10	<0,2	>30	>40	Medio	4,5<5,2	1-2,5	20-40	5-8	2	1,38	0,36	0,41							
>8,4 - 9,0 Fuertemente alcalino (Na)	Mg Deficiente	>10	<6	>0,3			Bajo	5,2-5,5	<1	<20	>8-12	3	2,07	0,54	0,61							
	Ca Deficiente	Suelos magnésicos de relación Ca:Mg invertida (Relación Ca:Mg <1)						Condición favorable al cultivo	6,5-7,3	-	-	12-18	4	2,76	0,72	0,82						

Fuente: Castro, 2009.

Fuente. (Castro, 2008)

Capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol/kg⁻¹)

Tabla 34. Estimativos para CIC (cmol/kg⁻¹)

APRECIACIÓN	CIC cmol/kg ⁻¹
MUY BAJO	<5
BAJO	5-10
MEDIO	>10-20
ALTO	>20

Fuente. (Castro, 2008)

Según el estimativo de capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol/kg⁻¹), mencionado en la Tabla 34 se deduce que la CIC de los suelos de este grupo presentan un valor de 55.95 cmol/kg⁻¹, superando el promedio general, cuyo valor es de 41.76 cmol/kg⁻¹, y que además se puede deducir que la CIC es alta pues presenta un valor >20 cmol/kg⁻¹, lo anterior parte de que la eficiencia del CIC se debe a un contenido notable de materia orgánica analizada en esta investigación, como base de lo cual se estima la fertilidad del suelo.

Su estudio es de gran interés, tanto para la interpretación genética y sistemática del suelo, pues está relacionada directamente con el complejo de alteración, como para conocer su comportamiento práctico, puesto que constituye un índice de la aptitud del suelo para retener y suministrar nutrientes a las plantas. (INTAGRI , 2001)

Es importante que los propietarios de estas fincas ganaderas conozcan el concepto de CIC, ya que gracias al estudio de esta propiedad, se determina el pH (potencial de hidrógeno) y otras características, además esta se encuentra estrechamente relacionada con el cultivo de pastos, lo que permite adecuar el terreno para un mejor manejo y rendimiento del mismo.

Carbono orgánico (%)

En esta propiedad química del suelo, el valor del promedio del grupo es de 13.87%, el cual está por encima del valor general que presenta un 11.39%.

El carbono orgánico del suelo (COS) es una medida de la cantidad total de carbono orgánico en el suelo. El interés en COS se fundamenta en que esta medida es un indicador de calidad de suelo. En consecuencia, su variación puede tener implicaciones en procesos ambientales como fertilidad de suelo, erosión y flujos de gases efecto invernadero (Stolbovoy *et al.*, 2007).

Según lo afirmado por Lal *et al.*, (1998), es importante conocer la influencia que diferentes factores ejercen sobre el carbono orgánico, tales como el clima, el tipo de residuo, la estructura, la textura y mineralogía del suelo y otros factores relativos al suelo. Especial relevancia tiene el uso del terreno sobre el contenido de materia orgánica del suelo y son numerosos los estudios realizados al respecto.

El COS asociado a la materia orgánica del suelo proporciona coloides de alta capacidad de intercambio catiónico, lo cual se ve reflejado en el presente estudio.

Materia orgánica (%)

Tabla 35. Estimativo de materia orgánica según el clima

MATERIA ORGÁNICA SEGÚN EL CLIMA (%)			
INTERPRETACION	BAJO	MEDIO	ALTO
FRIO	< de 5	5 – 10	> de 10
MEDIO	< de 3	3 – 5	> de 5
CALIDO	< de 2	2 – 3	> de 3

Fuente. (Castro, 2008)

De acuerdo con el estimativo de materia orgánica (%), referenciado en la Tabla 35, se deduce que los suelos de las unidades experimentales pertenecientes al grupo (I), presentan suelos con alto contenido de materia orgánica, pues tienen un valor

de 23.92%, que está por encima del estimativo mencionado, posiblemente este resultado se debe a la alta CIC presente, ya que estas dos variables están altamente correlacionadas y además supera el valor del promedio general que corresponde a un 19.63%.

Charry (1987), menciona que a mayor altitud la materia orgánica se incrementa, debido al lento proceso de humidificación y mineralización de la misma por la baja actividad de los microorganismos del suelo. Esto se relaciona con la investigación realizada ya que la mayoría de los suelos de este grupo están ubicados en la parte alta y media con altos contenidos de MO.

Al respecto (Lal, 1994) ,indica que la MOS incrementa la habilidad del suelo para resistir todas las formas de degradación, y especialmente la erosión, debido a diversos efectos como el mantenimiento de una condición estructural que permite la circulación de aguas y gases al tiempo que retiene una cantidad considerable de la misma.

Nitrógeno Total (%)

Tabla 36 Estimativo para el contenido de Nitrógeno total

CLIMA	INTERPRETACIÓN DEL % DE N TOTAL		
	BAJO	MEDIO	ALTO
FRIO	< 0.25	0.25 – 0.50	> 0.50
MEDIO	< 0.15	0.15 – 0.25	> 0.25
CÁLIDO	< 0.10	0.10 – 0.20	> 0.20

Fuente. (Castro & Gomez, 2010)

Los suelos de las unidades experimentales pertenecientes al grupo (I), presentan suelos con alto contenido de nitrógeno total (%), pues tienen un valor de 0.69%, que está por encima del valor general (0.60%), este valor está relacionado con el alto contenido de materia orgánica que estos suelos presentan, y de acuerdo al estimativo de la Tabla 36, presenta un valor alto (>50) que corresponde a una zona de clima frio, en este sentido Bremmer & Mulvaney (1982) indican que la materia orgánica (MO) y el nitrógeno total (Nt) son dos propiedades fundamentales para evaluar la fertilidad del suelo.

Por otro lado, Briceño (2002), indica que la principal entrada de N se da por fijación biológica que consiste en capturar nitrógeno del aire en forma de N₂ y transformarlo en NH₃ – NH₄ +, para que sea absorbido por las plantas; el mayor reservorio de nitrógeno en el suelo se encuentra en los microorganismos que lo habitan: bacterias, hongos y nematodos, cuya presencia se encuentra relacionada con la cantidad de materia orgánica presente en el suelo ya que esta se constituye en su fuente de alimentación.

En relación a lo anterior Silva-Lora (1994), afirma que la mayor parte de la fijación del nitrógeno se lleva a cabo por bacterias que viven en el suelo, ya que la disponibilidad de nitrógeno para las plantas depende de la actividad microbológica, tal actividad es mayor con un pH cercano a la neutralidad, al menos en lo que respecta a nitrificación y actividad biológica.

Azufre disponible S (ppm)

Tabla 37. Estimativo para azufre disponible en el suelo

AZUFRE DISPONIBLE (mg/Kg)	
INTERPRETACION	VALOR
BAJO	< 8
MEDIO	8-16
ALTO	>16

Fuente. (Castro, 2008)

Los suelos de las unidades experimentales pertenecientes al grupo (I), presentan un valor promedio de azufre disponible de 7.44 mg/Kg, el cual no supera el promedio general con una valor de 10.86 mg/Kg. De acuerdo con el estimativo de azufre disponible presentado en la Tabla 37. En relación con el valor promedio del grupo, el contenido de este elemento es bajo pues es menor a 8 mg/Kg.

En este sentido Sela (s.f), menciona que las deficiencias de azufre son más probables en los suelos arenosos, incluso en suelos con alto contenido de materia orgánica, ya que a menudo, la descomposición de la materia orgánica y el proceso de mineralización no son lo suficientemente rápidos para cumplir con el requerimiento de azufre del cultivo, de lo anterior se puede deducir que en esta investigación el proceso de descomposición de la materia orgánica en la zona alta y zona media (predominantes) es lenta, porque aunque estos suelos presentan altos contenidos de materia orgánica, debido a esta condición, va a existir poca disponibilidad de este elemento en los mismos.

De acuerdo a lo anterior, el mismo autor afirma que la mayor parte del azufre en los suelos se encuentra en la materia orgánica del suelo. Sin embargo, no está disponible para las plantas en esta forma. Para llegar a estar disponible para las plantas, el azufre debe ser liberado por primera vez de la materia orgánica y mineralizado en el proceso de mineralización.

Manganeso disponible Mn (mg/Kg)

Tabla 38. Estimativo para manganeso disponible en el suelo

MANGANESO DISPONIBLE (mg/Kg)	
INTERPRETACION	VALOR
BAJO	< 5
MEDIO	5-10
ALTO	>10

Fuente. (Castro, 2008)

Los suelos de este grupo, presentan Manganeso disponible (mg/Kg), con un valor promedio de 2.19 mg/Kg, el cual no supera el promedio general con un valor de 19.49 mg/Kg. De acuerdo con el estimativo de presentado en la Tabla 38, en relación al valor promedio del grupo, el contenido de este elemento es muy bajo pues es menor a 5 mg/Kg.

El manganeso (Mn), uno de los 17 elementos esenciales, es indispensable para el crecimiento y la producción de las plantas. El Mn es considerado un micronutriente porque las plantas lo requieren solamente en pequeñas cantidades. Sin embargo, esta clasificación no tiene relación con su abundancia relativa en el suelo o con su importancia como nutriente de las plantas. A pesar que los suelos pueden contener cantidad relativamente grandes de Mn, normalmente sólo una pequeña fracción se encuentra en forma inmediatamente disponible. La deficiencia ocurre con mayor frecuencia en suelos con altos niveles de materia orgánica y en aquellos suelos que son naturalmente deficientes en contenido de Mn. Los síntomas de deficiencia varían entre zonas. (INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO, 2009)

Calcio de cambio Ca (cmol/kg-1)

Tabla 39. Estimativo para calcio de cambio en el suelo

CALCIO DE CAMBIO cmol/kg ⁻¹	
INTERPRETACION	VALOR
MUY BAJO	< 2
BAJO	2-3
MEDIO	>3-6
ALTO	>6

Fuente. (Castro, 2008)

Los suelos de este grupo, presentan calcio de cambio con un valor promedio de 1.20 (cmol/kg⁻¹), el cual no supera el promedio general con un valor de 2.59 (cmol/kg⁻¹). De acuerdo con el estimativo presentado en la Tabla 39, en relación al valor promedio del grupo, el contenido de este elemento es muy bajo pues es menor a 2 (cmol/kg⁻¹).

Según Sanabria (2008), la presencia de calcio en el suelo es indispensable para lograr que los otros elementos, especialmente los cationes, se pongan disponibles para la planta. Es conocido que el calcio debe cubrir el 60-70% de la saturación de los cationes del suelo. En suelos con bajo pH (ácidos), los problemas con la disponibilidad de calcio son bastante serios. Por una parte, los excesos de aluminio y hierro pueden convertirse en un problema de fitotoxicidad para las plantas, especialmente a nivel de su sistema radicular; y por otra, se presenta poca disponibilidad de los cationes (Mg, K, Ca), lo que afecta tremendamente la calidad de las cosechas. De acuerdo a lo anterior, es posible deducir que los suelos de este grupo evaluados en las pendientes plana, media y alta (predominando la media y alta), presentan deficiencia de este elemento mayor, debido a que el pH fluctúa entre 4 y 5, además presentan poca disponibilidad de elementos mayores.

La única manera de corregir un suelo ácido es aplicando calcio en forma de enmiendas cálcicas, cuya dosis depende de los rangos de pH específicos de cada suelo.

Magnesio de cambio Mg (cmol/kg⁻¹)

Tabla 40. Estimativo para magnesio de cambio en el suelo

MAGNESIO DE CAMBIO cmol/kg⁻¹	
INTERPRETACION	VALOR
MUY BAJO	< 0.5
BAJO	0.5-1.2
MEDIO	>1.2-1.8
ALTO	>1.8

Fuente. (Castro, 2008)

En este grupo, los suelos presentan magnesio de cambio con un valor promedio de 0.30 (cmol/kg⁻¹), el cual no supera el promedio general con un valor de 0.63 (cmol/kg⁻¹). De acuerdo con el estimativo presentado en la Tabla 40, en relación al valor promedio del grupo, el contenido de este elemento es muy bajo pues es menor a 5 cmol/kg⁻¹.

La absorción de magnesio es muy dependiente en las características del suelo en cada lugar: tipo y condición de complejo absorbente, su saturación con diferentes cationes, tales como calcio, competencia de absorción entre cationes, tales como potasio y magnesio contribuyendo así a una buena producción de forrajes para el ganado (Marschner, 1997).

La deficiencia de este elemento se relaciona con los niveles ácidos de pH encontrados en todas las unidades experimentales en relación a los sistemas de manejo (predominando el sistema de ganadería convencional en la zona alta).

Potasio de cambio K (cmol/kg⁻¹)

Tabla 41. Estimativo para potasio de cambio en el suelo

POTASIO DE CAMBIO cmol/kg ⁻¹	
INTERPRETACION	VALOR
MUY BAJO	< 0.2
BAJO	0.2-0.4
MEDIO	>0.4-0.6
ALTO	>0.6-1

Fuente. (Castro, 2008)

Los suelos este grupo presentan un potasio de cambio con un valor promedio de 0.21 (cmol/kg⁻¹), el cual no supera el promedio general con un valor de 0.33 (cmol/kg⁻¹). De acuerdo con el estimativo presentado en la Tabla 41, haciendo énfasis en este valor promedio del grupo, el contenido de este elemento es bajo pues este fluctúa entre 0.2 a 0.4 cmol/kg⁻¹.

Según Sela (s.f) el potasio de cambio es una forma disponible del potasio en el suelo, que las plantas pueden extraer fácilmente. Esta fracción de potasio esta absorbida en la superficie de las partículas de arcilla y materia orgánica en el suelo. Se encuentra en equilibrio con la solución del suelo y se desplaza rápidamente cuando las plantas absorben el potasio de la solución del suelo. En la mayoría de los análisis de suelos se miden el potasio intercambiable. Al respecto, Lora (1994), manifiesta que en suelos ácidos como lo son los estudiados en la zona alta y media de este grupo, en muchos casos han sido lixiviados por las altas precipitaciones del área, presentan una baja saturación de bases. Es de esperar que en suelos ácidos altamente interperizados contengan bajas cantidades de este elemento. Cuando se eleva el pH el aluminio se precipita en forma de Al (OH)₃ y el potasio puede ser fijado, disminuyendo su disponibilidad.

Fósforo disponible P (cmol/kg⁻¹)

Tabla 42. Estimativo para fósforo disponible en el suelo

FOSFORO DISPONIBLE Bray II (cmol/kg ⁻¹)	
INTERPRETACION	VALOR
MUY BAJO	< 10
BAJO	10-20
MEDIO	>20-40
ALTO	>40

Fuente. (Castro, 2008)

Los suelos en este grupo presentan disponibilidad de fósforo con un valor promedio de 7.04 cmol/kg⁻¹, el cual no supera el promedio general con un valor de 16.49 cmol/kg⁻¹. De acuerdo con el estimativo presentado en la Tabla 42, haciendo énfasis

en este valor promedio del grupo, el contenido de este elemento es muy bajo pues se encuentra en un rango menor a 10 cmol/kg^{-1} .

El fósforo (P) es un nutriente de baja solubilidad y movilidad en los suelos que se encuentra generalmente en situaciones de deficiencia para el crecimiento vegetal, y sólo puede ser repuesto mediante la fertilización McDowell & Sharpley (2003). Una de las formas de evaluar el grado de deficiencia y posteriormente diagnosticar la cantidad de P a agregar al suelo y aumentar su disponibilidad para el crecimiento vegetal, se realiza comúnmente mediante soluciones (extractantes) que remueven del suelo una cierta cantidad de P, considerada asimilable por las plantas.

Burbano (2001), afirma que la deficiencia de P puede ser uno de los factores más limitantes en determinadas condiciones; así sucede en muchos suelos del trópico americano, como que aproximadamente el 82% de su extensión presenta deficiencias de fósforo.

Al respecto Gómez (2002) , manifiesta que en la disponibilidad del P influye el pH del suelo el cual preferiblemente debe encontrarse en un rango entre 6.5 a 7.5, ya que este se mantiene soluble aunque puede presentar cierto riesgo de lixiviación, es por ello que los valores de pH encontrados en los suelos de la investigación que oscilan entre 4 a 5 posiblemente pueden afectar esta disponibilidad.

Hierro disponible Fe (mg/Kg)

Tabla 43. Estimativo para hierro disponible en el suelo

HIERRO DISPONIBLE (mg/Kg)	
INTERPRETACION	VALOR
BAJO	< 50
MEDIO	50-100
ALTO	>100

Fuente. (Castro, 2008)

Los suelos en este grupo presentan disponibilidad de hierro con un valor promedio de 180.92 mg/Kg , el cual no supera el promedio general con un valor de 250.33 mg/Kg , sin embargo en relación al estimativo presentado en la Tabla 43, se deduce que existe un alto contenido de hierro, pues el valor promedio del grupo es Mayor a 100 mg/Kg .

Según lo anterior, Difinigenart (s.f), los niveles excesivos de hierro normalmente sólo se encuentran en suelos con niveles muy bajos de pH. A medida que aumentan los niveles de pH, la cantidad de hierro disponible disminuye. Cuando los niveles son de menos de 5,0, cantidades tóxicas de hierro se puede acumular en el suelo. Los

niveles de hierro en exceso también pueden estar relacionados con los niveles de zinc deficientes.

En esta investigación, los suelos de las zonas ya mencionadas en este grupo, presentan alta toxicidad por hierro, pues el pH está estimado como ácido y fue analizado en el segundo grupo.

Clúster (Grupo) II/III

Tabla 44. Caracterización de variables continuas grupo II.

GRUPO	Nº DE FINCAS	VARIABLE	VALOR PROMEDIO	VALOR GENERAL
II	8	Capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol/kg ⁻¹)	29.84	41.76
		pH (potencial de hidrogeno)	4.71	4.96
		Azufre disponible (mg/Kg)	16.91	10.86
		Hierro disponible (mg/Kg)	325.75	250.33
		Boro disponible (mg/Kg)	0.37	0.22

El grupo (II), se encuentra conformado por las fincas 2 14 15 16 17 18 19 y 22 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las fincas 16, 17 y 18, fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica (zona media), las fincas 14 y 15 (zona media), fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería convencional, las fincas 19 y 22 (zona plana) valoradas con los sistemas de bosque secundario (testigo) y sistema de ganadería convencional, finalmente la finca 2 (zona alta), evaluada con el sistema de bosque secundario, dando así un total de 8 unidades experimentales, representando el 29.62% del total de fincas evaluadas. Cabe resaltar que la mayoría de fincas de este grupo están ubicadas en la zona media del área de estudio, y la que menos presencia tuvo en este grupo fue la zona alta, representada por una unidad experimental. De igual manera los sistemas más representativos fueron el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica y el sistema de ganadería convencional, el menos representativo fue el bosque secundario (testigo).

En este grupo se resaltan las siguientes propiedades químicas: azufre disponible mg/Kg con valores de 10.86 – 16.91 mg/Kg, hierro disponible (mg/Kg) con valores de 250.33 – 325.75 mg/Kg, boro disponible (mg/Kg) con valores de 0.22 - 0.37 mg/Kg, capacidad de intercambio catiónico CIC (mg/Kg), con valores de 41.76 – 29.84, mg/Kg, pH con valores de 4.96-4.71 mg/Kg. En las cuales el primer valor mencionado corresponde al valor general y el segundo al promedio del grupo en el que se encuentran.

Boro disponible B (mg/Kg)

Tabla 45. Estimativo para boro disponible en el suelo

BORO DISPONIBLE (mg/Kg)	
INTERPRETACION	VALOR
BAJO	< 0.3
MEDIO	0.3-0.6
ALTO	>0.6

Fuente. (Castro, 2008)

Los suelos este grupo presentan boro disponible con un valor promedio de 0.37 mg/Kg, el cual supera el promedio general con un valor de 0.22 mg/Kg. De acuerdo con el estimativo presentado en la Tabla 45, haciendo énfasis en este valor promedio del grupo, el contenido de este elemento es medio pues este fluctúa entre 0.3 a 0.6.

Se puede decir que por naturaleza, el boro esta usualmente presente en una concentración promedio de 10 mg/Kg. Sin embargo, el rango de las concentraciones de boro en la solución del suelo, en cual las plantas sufren efectos tóxicos o deficiencias, es muy estrecha (0.3-1 mg/Kg).

Otra parte se asocia de forma más específica con arcillas, materia orgánica, hidróxidos de Mn, hidróxidos de Fe siendo menos disponible para las plantas ya que se va liberando más lentamente. Otra parte del boro está ocluida en hidróxidos de Al y Fe (cristalinos y amorfos) y silicatos, formando la fracción de boro relativamente no disponible para los vegetales. La concentración de boro total en el suelo se encuentra alrededor de 30 mg/Kg del cual menos del 5 % es, generalmente, disponible para los cultivos (Doncel, 1996).

El Boro disponible en el suelo tiene alta vulnerabilidad a lixiviar, principalmente en suelos de textura gruesa o bien en zonas húmedas siendo además las deficiencias de boro frecuentes en suelos con pH > 6,5, ya que es adsorbido (Montoya *et al*, 2003)

En relación a la presente investigación se deduce que el boro disponible puede estar afectado debido a que la mayoría de los suelos de este grupo pertenecen a la zona media del área de estudio, que presentaron alto nivel freático, además cabe destacar que estos suelos contienen un pH menor a 6.5 por lo cual el boro presenta una disponibilidad media.

pH (potencial de hidrogeno)

Tabla 46. Estimativo de pH del suelo

CARACTERISTICAS	VALORES DE pH
Extremadamente acido.	< 5.5
Moderadamente acido	5.5 – 5.9
Adecuado	6.0 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Alcalino	7.4 – 8.0
Muy alcalino	> 8.0

Fuente. (ICA, 1992)

Los suelos en este grupo presentan pH (potencial de hidrogeno) con un valor promedio de 4.71, el cual no supera el promedio general con un valor de 4.96 y haciendo un análisis de este parámetro de acuerdo con el estimativo presentado en la Tabla 46, se deduce que los suelos de este grupo y en general los de toda la zona de estudio presentan un pH muy fuertemente acido cuyo valor oscila entre 4.5 – 5.

De lo anterior se puede decir que el pH afecta a la actividad microbiana indispensable con vistas a la transformación de elementos que se presentan en formas no asimilables hacia otras que sí lo son. Este, es el caso del nitrógeno, cuyas formas inorgánicas son todas solubles independientemente del pH reinante (biodisponibilidad pH independiente). Sin embargo, como ya mencionamos, cuando el pH excede valores de 8 es inferior a 6, la actividad microbiana se ve entorpecida, disminuyendo tanto la liberación de amonio como su oxidación a nitrato, por lo que disminuye la concentración de las formas asimilables de este elemento.

Una de las limitaciones más comunes en los suelos colombianos está relacionada con los fenómenos ocurridos por la acidez, lo cual, es consecuencia de la toxicidad generada, principalmente, por el aluminio de cambio y en otros casos, como en los suelos sulfatados ácidos improductivos (SSAI), por la demanda de ácido sulfúrico y hierro. Las interacciones químicas derivadas de la acidez repercuten sobre la fertilidad del suelo, por alterar su equilibrio iónico e inhibir en diferente grado la absorción de importantes nutrientes, como calcio, magnesio y fósforo (Gomez *et al*, 2005).

Los requerimientos para la neutralización parcial o total de la acidez pueden ser definidos con un criterio más técnico y preciso, mediante curvas de enclamiento, obtenidas a partir de pruebas de incubación. (Alfaro & Bernier , 2008)

Con relación a investigación los suelos de este grupo presentan un pH muy fuertemente acido la cual puede estar generada principal mente por el alto contenido de hierro disponible y aluminio.

Azufre disponible S (mg/Kg).

Los suelos en este grupo presentan azufre disponible (mg/Kg), con un valor promedio de 16.91 mg/Kg, el cual supera el promedio general con un valor de 10.86 mg/Kg, que en relación al grupo I, presentó un valor alto, interpretándose de acuerdo al estimativo de la Tabla 37, que la disponibilidad de azufre en este grupo es alta, pues es mayor a 16 mg/Kg.

Hierro disponible Fe (mg/Kg)

Los suelos en este grupo presentan hierro disponible (mg/Kg), con un valor promedio de 325.75 mg/Kg, el cual supera el promedio general con un valor de 250.33 mg/Kg, que en relación con el grupo (I), presentó una similitud en cuanto a su disponibilidad.

Capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol/kg⁻¹)

Los suelos en este grupo presentan CIC (cmol/kg⁻¹), con un valor promedio de 29.84 cmol/kg⁻¹, el cual no supera el promedio general con un valor de 41.76 cmol/kg⁻¹, que en relación con el grupo (I), presentó similitud en esta variable.

Del clúster anterior se puede decir que la mayoría de fincas evaluadas pertenecen a la zona media del área de estudio y por esto la variabilidad en estas últimas 3 variables del segundo grupo.

Clúster (Grupo) III/III

Tabla 47. caracterización de variables continuas grupo III.

GRUPO	Nº DE FINCAS	VARIABLE	VALOR PROMEDIO	VALOR GENERAL
III	6	Capacidad de intercambio catiónico CIC (cmol/kg ⁻¹)	26.92	41.76
		Carbono orgánico (%)	7.25	11.39
		Materia orgánica (%)	12.50	19.63
		Nitrógeno total (%)	0.44	0.60
		Manganeso disponible (mg/kg)	64.25	19.41
		Calcio de cambio (cmol/kg ⁻¹)	6.07	2.59
		Magnesio de cambio (cmol/kg ⁻¹)	1.45	0.63
		Potasio de cambio (cmol/kg ⁻¹)	0.47	0.33
		Fosforo disponible (mg/kg)	28.52	16.49
		Cobre disponible (mg/kg)	1.45	0.61
		Mg :K	3.30	1.93
		Ca : K	14.33	7.82
		K : Mg	0.34	0.64
		(Ca+Mg) / K	17.63	9.75

El grupo (III), se encuentra conformado por las fincas 21 23 24 25 26 y 27 que corresponden a los sistemas de manejo evaluados. Las finca 21 fue evaluada mediante el sistema de bosque secundario (testigo), las fincas 23 y 24 fueron evaluadas mediante el sistema de ganadería convencional, las fincas 25, 26 y 27 valoradas con el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica. Las fincas anteriormente mencionadas hacen parte de la zona plana del área de estudio, representando el 22.22% del total de fincas evaluadas. Cabe resaltar que el sistema más representativo fue el sistema de ganadería en franjas con cerca eléctrica y el menos representativo fue el de bosque secundario (testigo).

Relacion magnesio /potasio Mg/K

Tabla 48. Balance de base Mg/K

RELACIONES IÓNICAS	IDEAL	RENGO CRÍTICO	DEFICIENCIA
Mg/K	6 – 8	> 10	Potasio
		< 6	Magnesio

Fuente. (Castro & Gomez, 2010)

En el grupo (III), la relación Mg:K presenta un valor de 3.30, siendo este superior al promedio general de 1.93 del total de las fincas pertenecientes a este grupo y teniendo en cuenta el estimativo esta variable se encuentra de forma deficiente en gran medida con respecto al contenido del magnesio (Mg); además en estas fincas la variable magnesio (Mg) de cambio tiene un valor de 1.47cmol/kg-1 superando el promedio general del total de las unidades experimentales cuyo valor es de 0.63cmol/kg-1, siendo estos valores un indicativo de que estos suelos tienen bajos contenidos de Mg puesto a que son menores a 0.5 cmol/kg-1, así mismo la relación K:Mg tiene un valor de 0.34cmol/kg-1 siendo este menor al promedio general de 0.64cmol/kg-1 y que al ser estos dos valores superiores a 3.0 cmol/kg-1 indican una deficiencia de Mg en estas fincas; teniendo en cuenta lo anterior se puede decir que las deficiencias de Mg²⁺ tienden a ocurrir cuando los suelos son ácidos, arenosos, altamente lavados y con baja Capacidad de Intercambio Catiónico CIC; en suelos calcáreos el nivel de Mg²⁺ es inherentemente bajo (Havlin et al., 1999). Cabe resaltar que según el histograma anteriormente indicado esta variable se encuentra presente sólo en este grupo donde predomina el sistema convencional ubicado en la pendiente plana, y que a nivel de esta pendiente el elemento Mg es deficiente.

Relación (Ca+Mg)/K

Tabla 49. Balance de base (Ca + Mg) / K

RELACIONES IÓNICAS	IDEAL	RENGO CRÍTICO	DEFICIENCIA
(Ca + Mg) / K	20 – 40	< 20	Calcio y/o Magnesio
		> 40	Potasio

Fuente.(Castro & Gomez, 2010)

En cuanto a la relación (Ca+Mg)/K en este grupo presenta un promedio de 17.63 superando al promedio general de las unidades experimentales evaluadas correspondiente a un valor de 9.75, los suelos de este grupo relacionados al sistema convencional ubicados en la pendiente plana contienen una relación ideal de estos macroelementos; esta relación tiene semejanza al hablar de la relación Ca:K cuyo promedio de 14.33, supera al promedio general de 7.82 que al estar entre un rango de 18-20 estos suelos presentan una relación ideal, estas dos variables mencionadas solo se encuentran en este grupo; así mismo el calcio (Ca) de cambio presente en este grupo tiene un valor de 6.07cmol/kg^{-1} superando al promedio general de 2.59cmol/kg^{-1} , siendo el primero indicativo de un alto contenido de este elemento y el segundo de un bajo contenido del mismo, a diferencia que en el grupo (I) esta variable en el tratamiento bosques secundarios, predominante a nivel general las 27 unidades experimentales presentan un valor bajo de Ca y 8 de ellas tienen un muy bajo contenido del mismo al estar por debajo de 2, esto según estimativo.

Potasio de cambio (cmol/kg^{-1})

En la variable potasio K en este grupo presenta un valor de 0.47cmol/kg^{-1} superando al promedio general de 0.33cmol/kg^{-1} , donde el primer valor se encuentra en un rango mayor de $0.4\text{-}0.6\text{cmol/kg}^{-1}$, considerando a estos suelos con un contenido medio de este; y el segundo valor al estar entre el rango de $0.2\text{-}0.4\text{cmol/kg}^{-1}$, se establece que estos suelos presentan un bajo contenido de K, a diferencia que en los suelos del grupo (I), esta variable al tener un valor de 0.21cmol/kg^{-1} menor al promedio general tienen un bajo contenido de este elemento. Deduciendo así que tanto en la pendiente alta como en la pendiente medias estos niveles de K presentes en los sistemas que los caracterizan se encuentran en baja proporción.

Teniendo en cuenta lo anterior antes expuesto, el alto contenido de MO, permite que existan altos contenidos de Calcio (Ca), Potasio (K) y Magnesio (Mg) y por ende una buena Capacidad de Intercambio Catiónico. Según Parra (2003), el Calcio y Magnesio tienen un comportamiento muy similar en el suelo y estos dos elementos son los que se encuentran generalmente en niveles más altos. La concentración y la disponibilidad de ambos elementos están controladas

generalmente por la Capacidad de Intercambio Catiónico de manera directa. Por lo tanto, al tener una CIC alta, permite una mayor disponibilidad de nutrientes disueltos en el suelo.

Urbano (1992), quien sostiene que el K que se encuentra combinado con la materia orgánica, puede ser liberado en forma de K^+ mediante el proceso de mineralización de la misma, mediado por la población microbiana.

Fòsforo disponible (mg/kg)

Con respecto al contenido de fòsforo presente en el grupo (III) y (I) cuyos valores son de 28.52 y 7.04 mg/kg y representan un contenido medio y bajo, respectivamente, donde el primer valor supera el promedio general de 16.49 mg/kg indicando un bajo contenido de esta variable y el segundo se encuentra por debajo de este; a partir de esto se puede decir que en la pendiente alta y media el P se encuentra en bajas porporciones.

Manganeso disponible (mg/kg)

Con respecto a la variable manganeso disponible (Mn) en este grupo tiene un valor de 64.25 mg/kg superando el promedio general de las fincas que corresponde a un valor de 19.49 mg/kg, siendo estos valores en la pendiente plana indicativos altos de este elemento; mientras tanto que en el grupo (I) esta variable en las 13 del total de las 27 fincas ubicadas en la pendiente alta presentan un valor de 2.19 mg/kg que reflejan en ellas un bajo contenido de este. Esto quiere decir que a medida que aumenta la pendiente el contenido de este elemento también aumenta.

Capacidad de Intercambio Cationico CIC (cmol/kg⁻¹)

Con referencia a la variable de capacidad de intercambio cationico (CIC), este grupo y el grupo (II) presentan valores de 26.92 y 29.84 cmol/kg⁻¹, siendo inferiores al promedio general de 41.76 cmol/kg⁻¹ correspondiente a las 27 fincas evaluadas, y que al relacionarlas con el estimativo presentan un alto contenido de esta variable, al igual que el grupo (I), que también presenta un valor de 55.95 cmol/kg⁻¹, el cual a diferencia de los anteriores grupos es superior al promedio general, pero que aun así estos valores representan un alto contenido de CIC, deduciendo así que en las diferentes pendientes la CIC es una variable predominante, donde la pendiente alta contiene mayor cantidad a diferencia de la pendiente media y plana.

Materia orgànica (%)

El % de materia organica presente en los suelos del grupo (III) y (I) son de 12.50 y 23.92 %, respectivamente, donde el primero se encuentra por debajo del promedio general de 19.63 % y el segundo es superior al mismo, pero aun así estos dos valores son mayores a 10, por lo que se deduce que estos suelos que estan

ubicados en la pendiente plana y alta, respectivamente tienen altos contenidos de materia orgánica, a comparación de los suelos del grupo (II) encontrados en la pendiente media, en donde esta variable no presentó relevancia. En relación a esta variable se encuentra el contenido de carbono orgánico en el suelo, es que para las 6 fincas pertenecientes a este grupo, esta variable presentó un valor de 7.25 % con respecto al promedio general de 11.39 % presente en el total de las 27 fincas y el grupo (I), presentó un valor de 13.87 % superando el promedio general mencionado, recalcando que en estas fincas la materia orgánica juega un papel importante deduciendo que a mayor contenido de MO mayor contenido de CO.

Del mismo modo un componente fundamental de la materia orgánica es el % de nitrógeno total (N₂) el cual en este grupo presentó un promedio de 0.44 %, el cual es inferior al promedio general de 0.60 % y para el grupo (II) un valor de 0.69 % superior a este promedio, encontrándose el mayor contenido de este elemento dentro de los suelos de las pendientes plana y alta.

Cobre disponible (mg/kg)

Tabla 50. Estimativo para cobre disponible en el suelo

COBRE DISPONIBLE (mg/kg)	
INTERPRETACION	VALOR
BAJO	< 2
MEDIO	2-4
ALTO	>4

Fuente.(Castro, 2008)

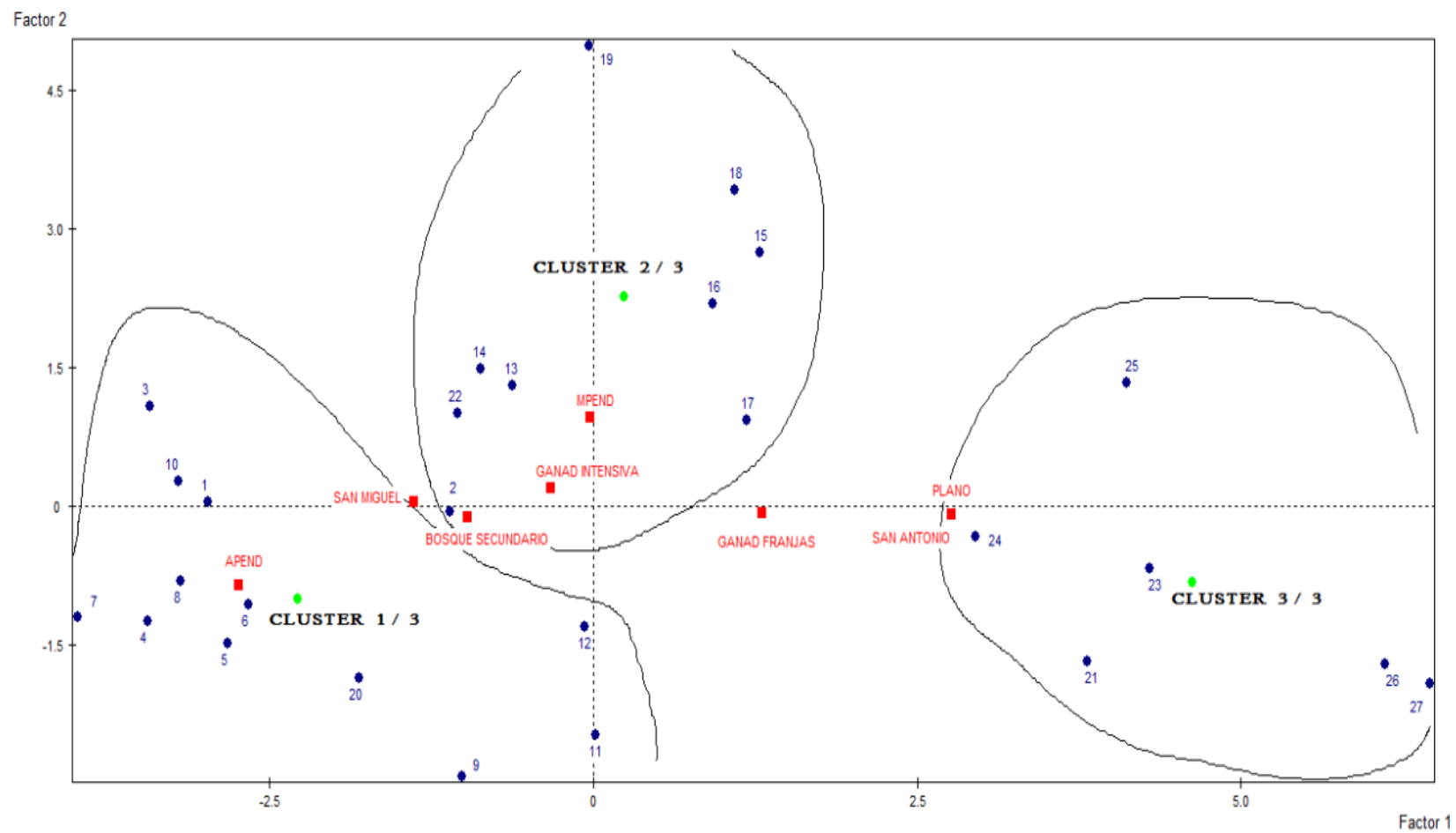
El cobre disponible (Cu), en este grupo, registro un valor de 1.45 mg/kg que según el estimativo estos suelos presentan un contenido bajo de este elemento, puesto que dicho valor es menor a 2, superando el promedio general de 0.61 mg/kg correspondiente al total de las 27 fincas, cabe resaltar que esta variable está presente solamente en las 6 fincas pertenecientes a este grupo, donde predomina el sistema convencional y se ubican en una pendiente plana. Con respecto a lo anteriormente mencionado una de las características del suelo que afectan la disponibilidad del Cu es la materia orgánica, pues a menudo, las deficiencias son localizadas y asociadas con cultivos que se desarrollan en suelos con alto contenido de materia orgánica, en turbas y en suelos que han recibido aplicaciones de estiércoles. El Cu es retenido por la materia orgánica con mayor fuerza que cualquier otro micronutriente. Los síntomas de deficiencia de Cu pueden no ser tan fáciles de identificar como los de otros micronutrientes (Ahumada, 1999).

La baja disponibilidad del Cu en el suelo y las deficiencias en las plantas son frecuentemente resultados de la interacción con otros nutrientes. Por ejemplo, niveles altos de N agravan las deficiencias de Cu y niveles altos de P, Zn, Fe y Al pueden restringir la absorción de Cu por las raíces (Ahumada, 1999).

Así mismo la disponibilidad del Cu decrece a medida que el pH se incrementa a valores iguales o más altos que 7. El pH alto reduce la solubilidad e incrementa la fuerza con la cual el Cu es retenido por las arcillas y la materia orgánica, haciéndolo menos disponible para los cultivos (Ahumada, 1999).

Los suelos arenosos presentan deficiencias de Cu con más frecuencia que los suelos francos y arcillosos. Las arcillas retienen el Cu en forma intercambiable, disponible a las plantas. Sin embargo, otros componentes del suelo como los óxidos y los carbonos reducen la disponibilidad del Cu.

Gráfica 9. Distribucion de grupos Profundidad 30 cm.



Estos tres grupos se encuentran ilustrados en la Gráfica 9, donde se puede observar la distribución de las 27 unidades experimentales (fincas) con cada uno de sus sistemas de manejo y su respectiva ubicación referente a la pendiente. Con esta figura se puede determinar la relación que existe entre algunas fincas con respecto a las variables que predominan en cada una de ellas, siendo estas las que se encuentran más cercanas una de la otra y se aproximan al origen, a partir de este criterio se puede deducir además que el grupo (I) se encuentra más asociado a un bosque secundario, ubicado en las pendiente alta, en el grupo (II) predomino el sistema en franjas con cerca eléctrica, ubicado en la pendiente media y en el grupo (III) el sistema en convencional ubicado en la pendiente plana.

7.3. ANÁLISIS PARA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN RP.

7.3.1. Análisis resistencia a la penetración en el los bosques secundarios a diferentes pendientes.

La resistencia o impedancia mecánica del suelo (RP), medida con un Penetrógrafo, ha sido correlacionada con penetración de raíces. Taylor, *et al.*, (1966), citados por Valenzuela y Torrente (2013), demostraron que esta relación fue la misma para un alto rango de tipos de suelos, contenido de humedad y densidad aparente, lo cual sugiere que se trata de una relación fundamental.

Los resultados de la resistencia a la penetración en las pendientes alta (>45%), media (8-45%) y plana (0-8%) y los sistemas de manejo (sistema convencionales, sistema en franjas en cerca eléctrica y un tratamiento testigo bosques secundarios) se sintetizan en las Tablas 52, 53 y 54.

La interpretación de los resultados de esta variable se realizará de acuerdo al estimativo planteado por (LAL, 1994), donde incluye el valor de resistencia a la penetración (Mpa), el estimativo y la limitación, (Tabla 51).

Tabla 51. Interpretación de resistencia a la penetración (Mpa)

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (Mpa)			
Resistencia	Estimativo	Resistencia	Limitación
0 – 0.5	Muy bajo	Menor 1.0	Ninguna
0.5 – 1.0	Bajo	1.0 – 1.5	Ligera
1.0 – 1.5	Media	1.5 – 2.0	Moderada
1.5 – 2.0	Alta	2.0 - 2.5	Severa
2.0 - 2.5	Muy alta	Mayor 2.5	Extrema
Mayor 2.5	Extrema		

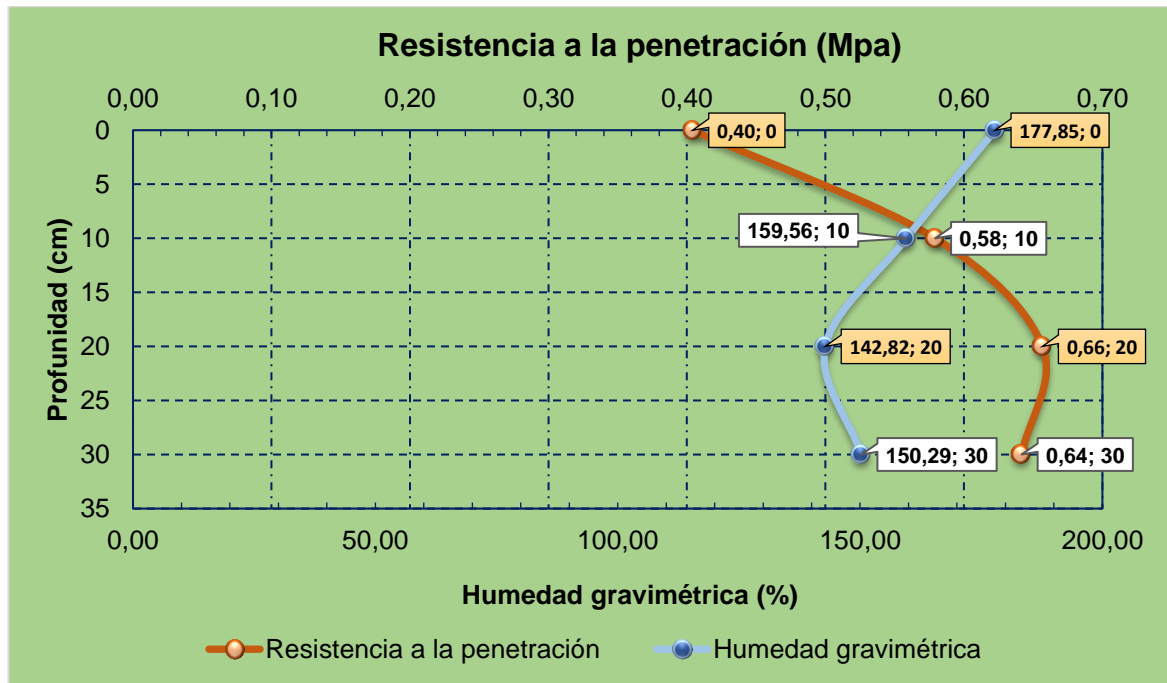
Fuente. (LAL, 1994).

Tabla 52. Resistencia a la penetrabilidad en los Bosques secundarios (S1).

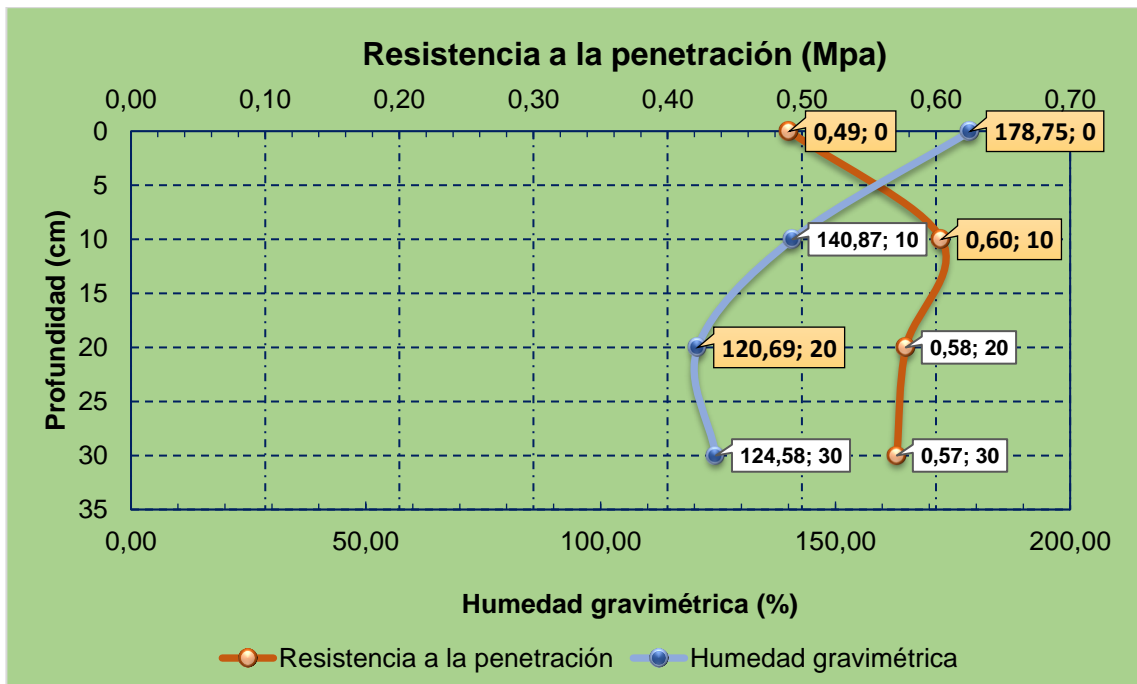
Tratamiento	Prof. (cm)	PENDIENTE ALTA		PENDIENTE MEDIA		PENDIENTE PLANA	
		RP Mpa	Humedad gravimétrica (%)	RP Mpa	Humedad gravimétrica (%)	RP Mpa	Humedad gravimétrica (%)
(SI) Bosque Secundario	0	0,40	177,85	0,49	178,75	1.07	133.37
	10	0,58	159,56	0,60	140,87	1.26	100.80
	20	0,66	142,82	0,58	120,69	1.43	73.90
	30	0,64	150,29	0,57	124,58	0.91	72.67
PROMEDIOS		0,57	157,63	0,56	141,22	1.17	95.19

Resistencia a la penetrabilidad en los bosques secundario (Tratamiento testigo) en pendiente alta, media y plana.

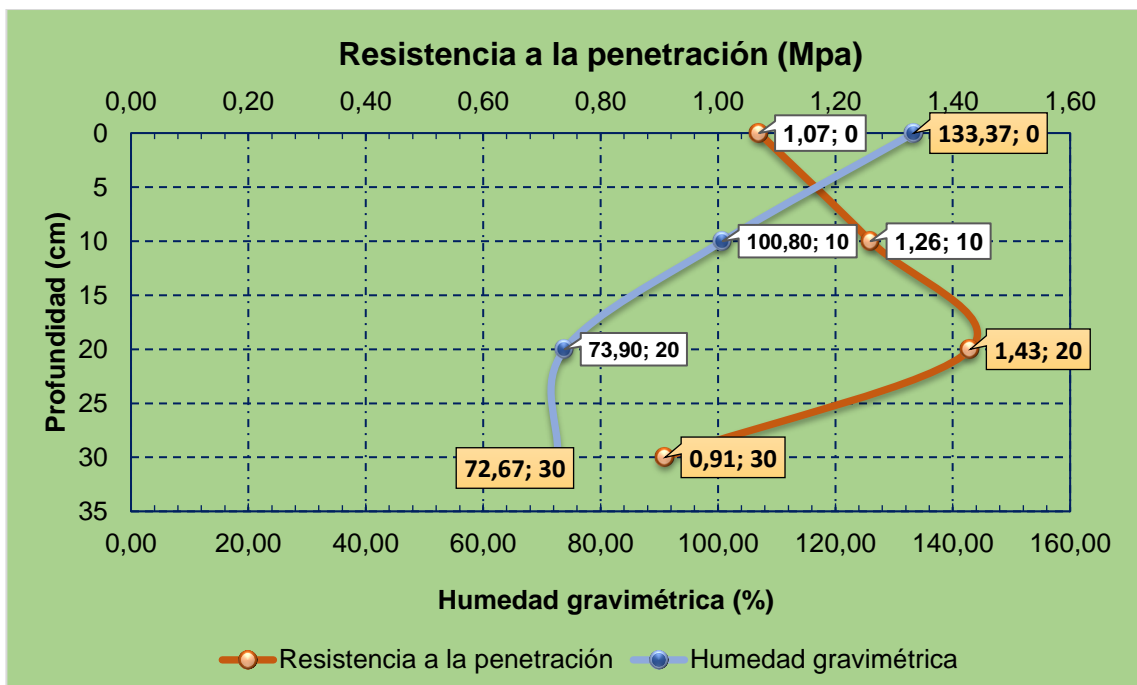
Gráfica 10. Resistencia a la penetrabilidad en los Bosques secundarios (S1) pendiente alta.



Gráfica 11. Resistencia a la penetrabilidad en los Bosques secundarios (S1) pendiente media.



Gráfica 12. Resistencia a la penetrabilidad en los Bosques secundarios (S1) pendiente plana.



De acuerdo con la Gráfica 10, se puede observar que en el tratamiento testigo (bosques secundarios) a los 0 y 20 cm de profundidad en la pendiente alta se encuentra una resistencia a la penetración con un valor mínimo de 0.40 Mpa y un máximo de 0.66 Mpa, considerándose estos valores con muy baja y baja RP, respectivamente en donde se presenta ninguna y una ligera limitación para el desarrollo de las raíces; además en esta pendiente y a la misma profundidad se registra un valor de 117.85% y 142.82% de humedad gravimétrica.

Para la pendiente media los valores mínimos y máximos de esta variable se presentan a los 0cm y a una profundidad de 10cm cuyos valores corresponden a 0.49 y 0.60 Mpa, respectivamente y, de acuerdo al estimativo estos suelos presentan una muy baja y baja RP y con una humedad gravimétrica de 178.75 y 140.87%. Por último en la pendiente plana los valores mínimos y máximos de esta variable, se encuentran a los 0 cm y 30 cm de profundidad con valores de 0.78 y 1.43 Mpa, respectivamente, los cuales de acuerdo al estimativo permiten deducir que estos suelos presentan una baja y media RP y una humedad gravimétrica de 133.37 y 72.67%, resaltando en ellos una moderada y ligera limitación.

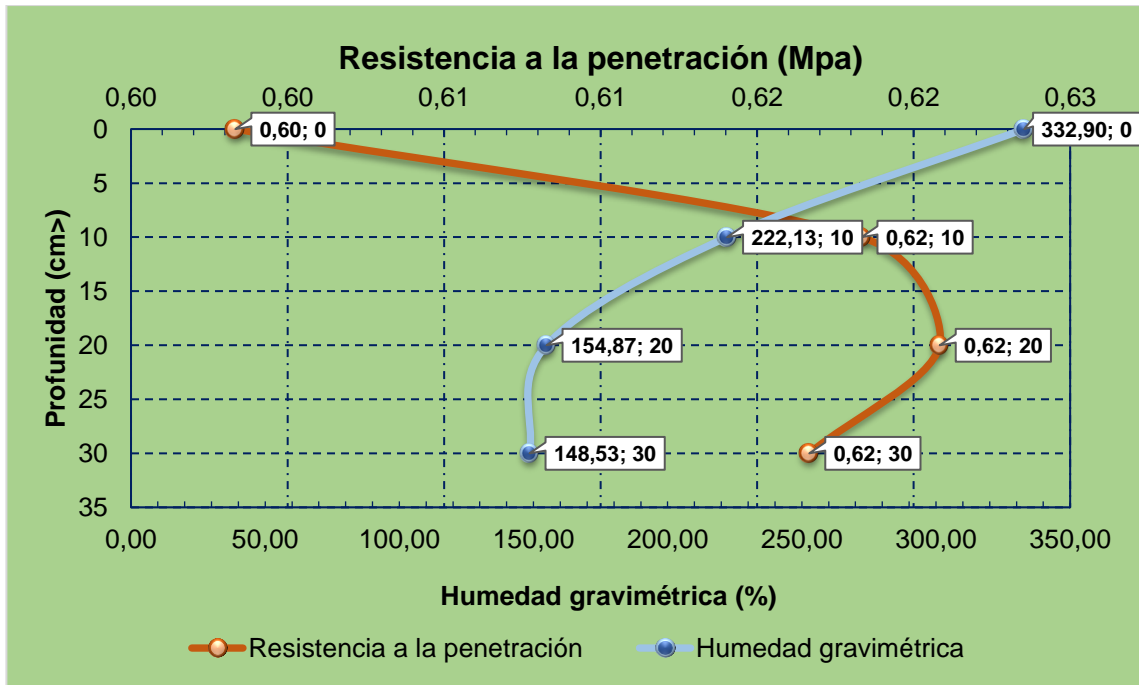
Deduciendo de este modo a partir de lo anteriormente enunciado que existen una relación entre la pendiente alta y media al tener una RP baja y muy baja a diferencia de la pendiente plana en donde los valores reflejan una baja y media RP, esto permite inferir que después de los primeros centímetros la RP aumenta, esto Según (Alfaro & Bernier , 2008), se generan problemas de degradación física como pérdida de resistencia expresada como una disminución del esfuerzo de compresión no confinada en el suelo y se manifiesta en campo por el hundimiento en el suelo húmedo de las patas de los animales.

7.3.2. Análisis resistencia a la penetrabilidad en los sistemas convencionales en pendiente alta, media y plana

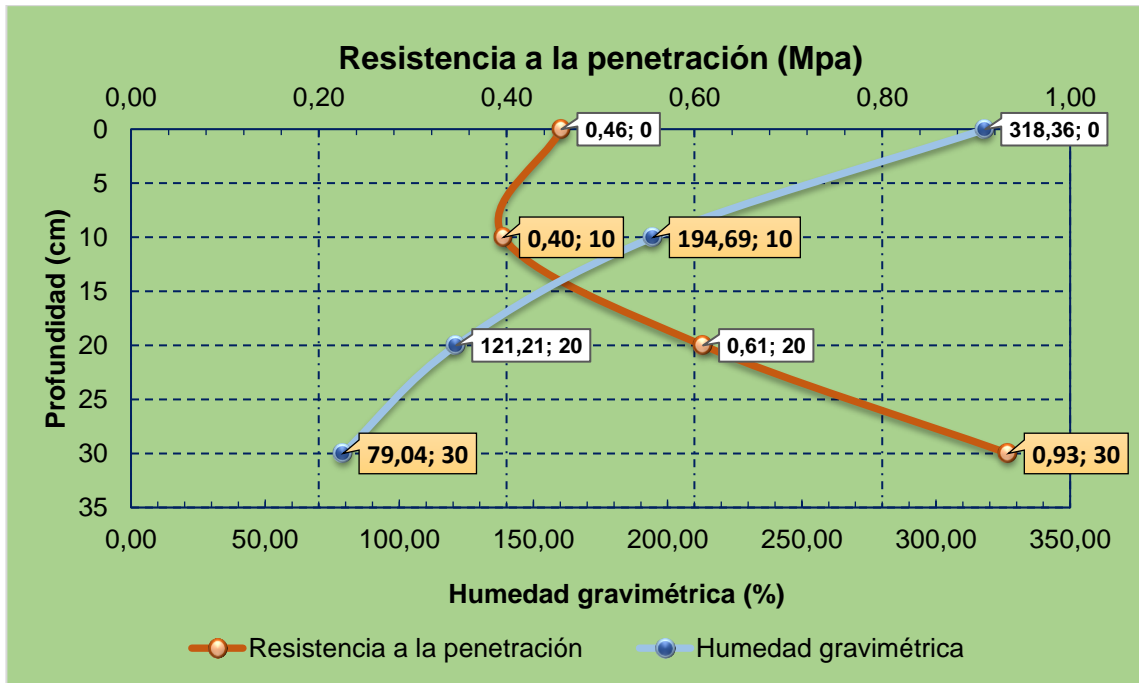
Tabla 53. Resistencia a la penetrabilidad en Sistema convencional (S3)

Tratamiento	Prof. (cm)	PENDIENTE ALTA		PENDIENTE MEDIA		PENDIENTE PLANA	
		RP Mpa	Humedad gravimétrica (%)	RP Mpa	Humedad gravimétrica (%)	RP Mpa	Humedad gravimétrica (%)
Sistema convencional	0	0,60	332,90	0,46	318,36	0,99	77,21
	10	0,62	222,13	0,40	194,69	0,96	76,14
	20	0,62	154,87	0,61	121,21	1,13	54,94
	30	0,62	148,53	0,93	79,04	1,23	52,18
PROMEDIOS		0,61	214,61	0,60	178,33	0,77	65,12

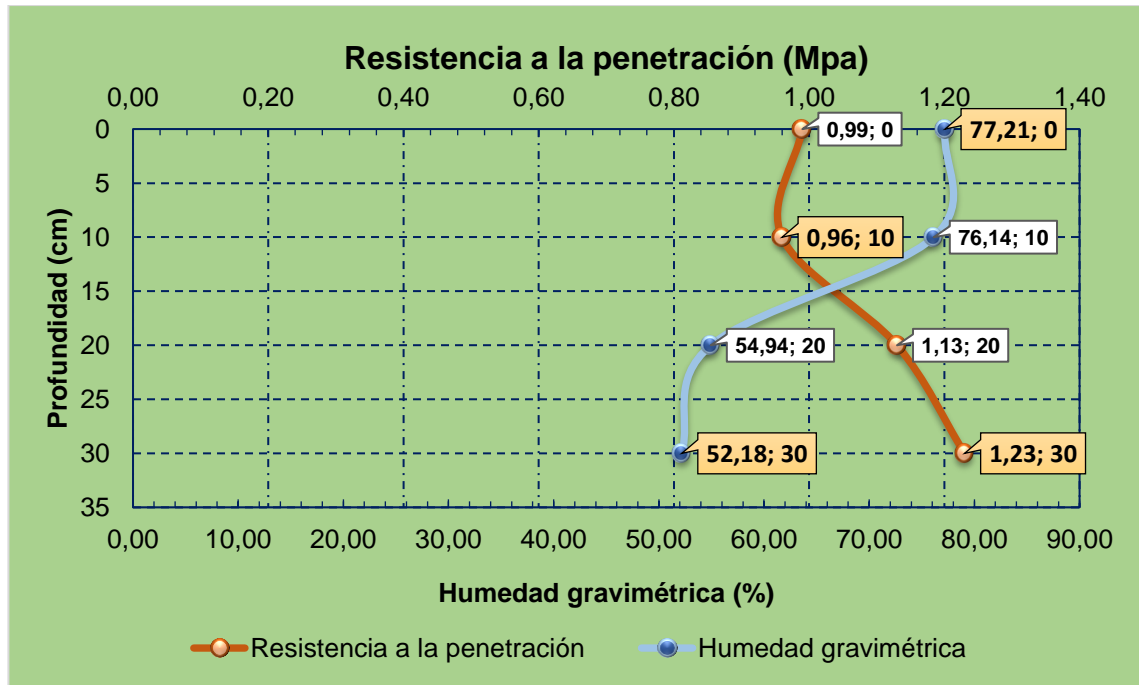
Gráfica 13. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas convencionales en pendiente alta.



Gráfica 14. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas convencionales en pendiente media.



Gráfica 15. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas convencionales en pendiente plana.



De acuerdo con las Gráfica 13, se puede observar que en la pendiente alta a una profundidad de 0cm se encuentra el mínimo valor de la RP con 0.60 Mpa y desde la profundidad de 10 a 30 cm se presenta un valor máximo de 0.62 Mpa, representando estos valores una baja RP, con un % mayor de humedad gravimétrica de 332.90% y un menor porcentaje de 148.53%, donde los suelos pertenecientes a dicha pendiente presentan una ligera limitación para el desarrollo de las raíces.

Para la pendiente media los valores mínimo y máximo de esta variable se presentan a una profundidad de 0 y 30 cm, cuyos valores corresponden a 0.46 y 0.93 Mpa, que de acuerdo al estimativo estos suelos presentan una baja RP, con valores de 318.36% y 79.04% de humedad gravimétrica; y en la pendiente plana esta variable presenta un valor máximo de 1.23 Mpa a una profundidad de 30 cm y 0.99 Mpa a una profundidad de 0 cm, infiriendo que estos suelos presentan una media y baja RP, con un % de humedad gravimétrica de 52.18% y 77.21 % respectivamente.

Además infiriendo que los suelos sometidos a este tipo de sistema a medida que aumenta la RP disminuye el % de humedad gravimétrica, esto con relación al aumento de la profundidad, sin embargo los suelos ubicados en la pendiente alta y media, bajo este sistema presentan una baja RP, es decir que estos suelos en estudio presentan una ligera limitación para la penetración de las raíces, mientras que en la pendiente plana sus valores reflejan una media y a su vez baja RP,

representado una moderada limitación para el desarrollo de las mismas; lo que quiere decir que en la pendiente plana se evidencia mayor compactación en comparación con las otras pendientes, pero cabe resaltar que a nivel general en este sistema y pendientes con respecto a los valores registrados en ninguna hay problemas severos de compactación.

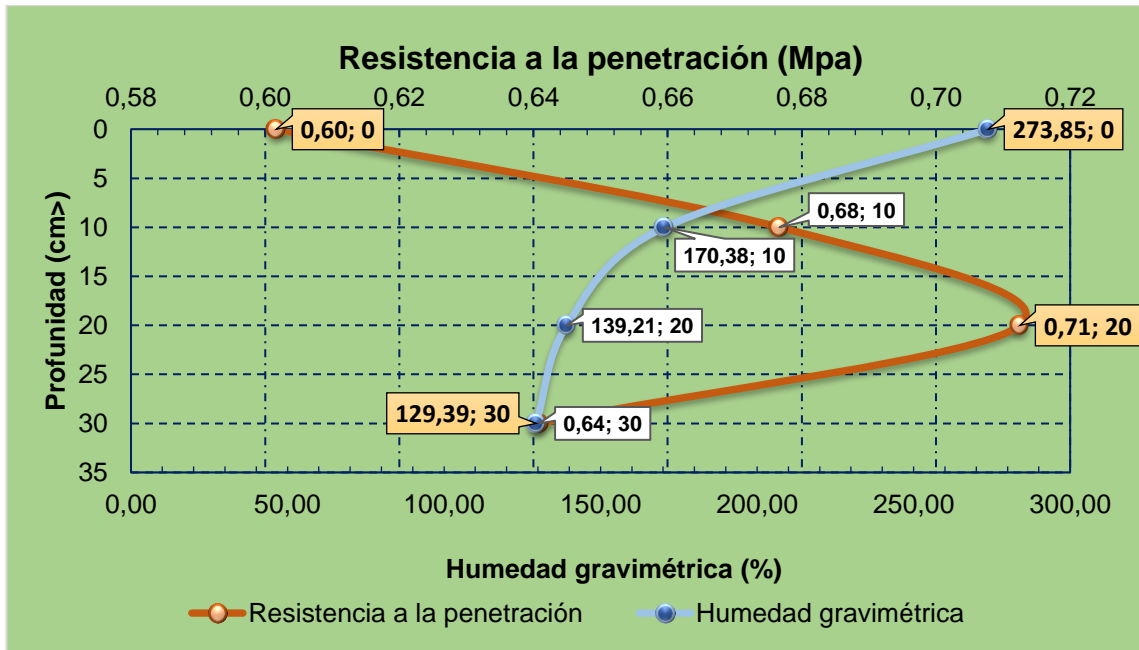
La resistencia a la penetración es un buen índice para evaluar problemas de restricción en el desarrollo radicular de las raíces de los cultivos, por la presencia de capas compactas y/o baja porosidad. La penetrabilidad del suelo permite conocer la facilidad con que un objeto puede ser introducido en él, es decir, la resistencia mecánica que ofrece el suelo a la expansión lateral y al corte que produce dicho objeto. Esa resistencia no es propiedad particular del material, sino que es la suma de los efectos de diferentes características y propiedades, tales como densidad aparente, contenido de humedad, resistencia a la penetración y al corte, las cuales. A su vez, son consecuencia de la distribución del tamaño de partículas, de la estructura, y de la composición mineral y orgánica presentes en el suelo. (Back, 1995).

7.3.3. Análisis de resistencia a la penetrabilidad en los sistemas en franjas con cerca eléctrica en pendiente alta, media y plana.

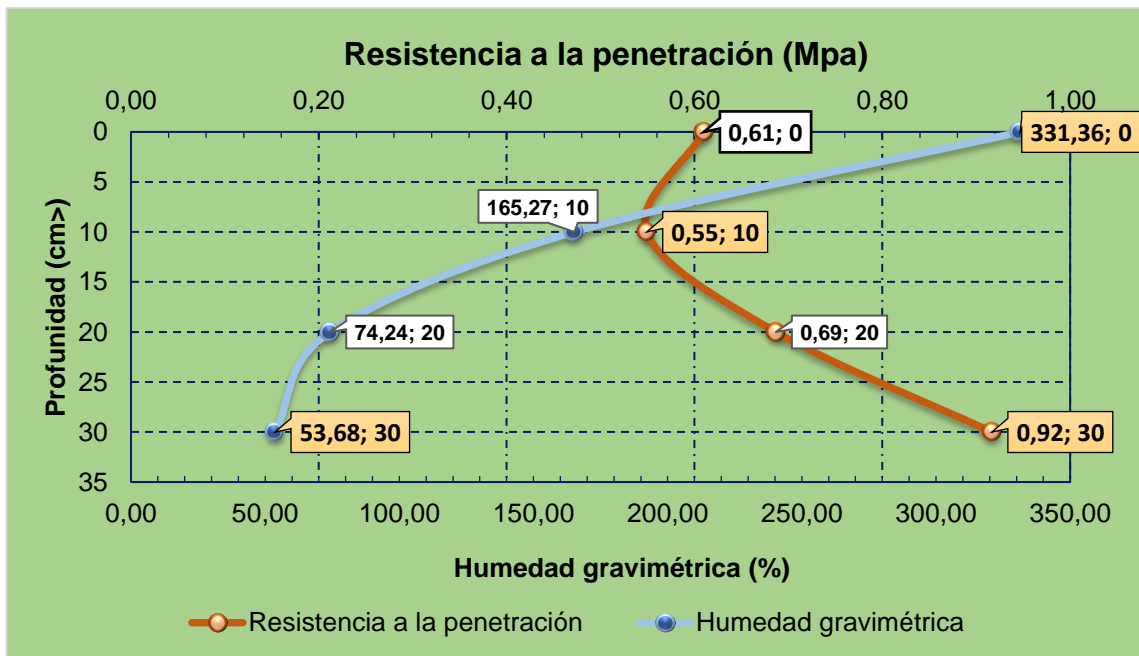
Tabla 54. Resistencia a la penetrabilidad en Franjas con cerca eléctrica (S2)

Tratamiento	Prof. (cm)	PENDIENTE ALTA		PENDIENTE MEDIA		PENDIENTE PLANA	
		RP Mpa	Humedad gravimétrica (%)	RP Mpa	Humedad gravimétrica (%)	RP Mpa	Humedad gravimétrica (%)
Sistema en Franjas - cerca eléctrica	0	0,60	273,85	0,61	331,36	1.20	139.35
	10	0,68	170,38	0,55	165,27	1.05	108.68
	20	0,71	139,21	0,69	74,24	0.77	53.17
	30	0,64	129,39	0,92	53,68	0.64	49.05
PROMEDIOS		0,66	178,21	0,69	156,14	0.91	87.56

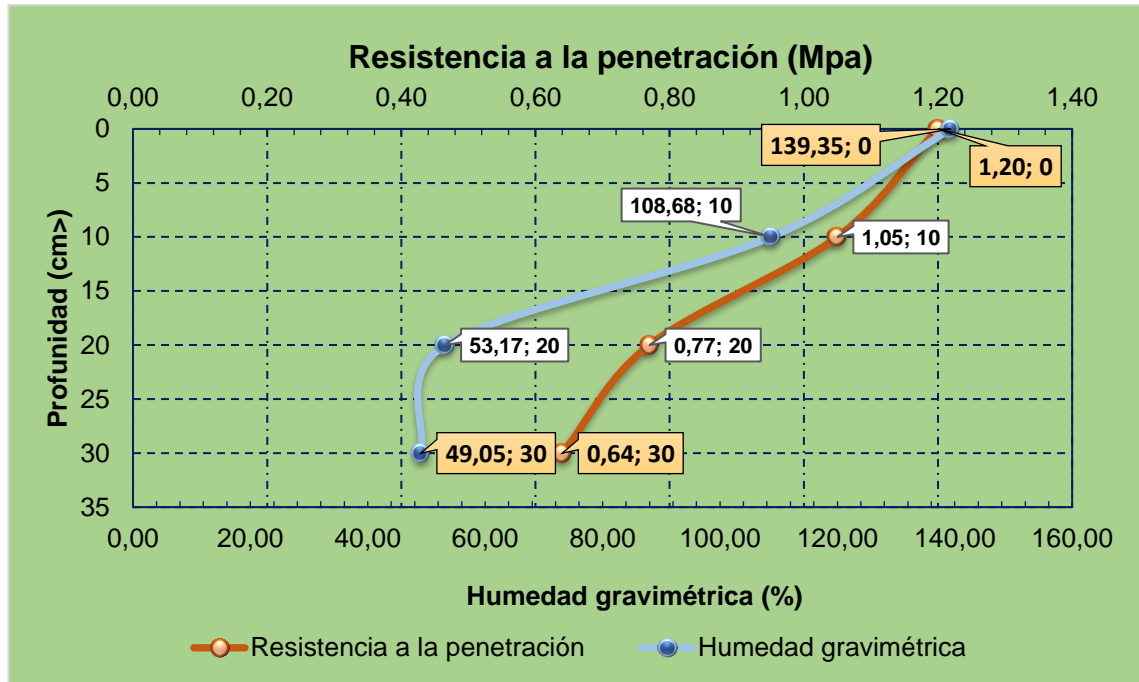
Gráfica 16. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas en franjas con cerca eléctrica en pendiente alta.



Gráfica 17. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas en franjas con cerca eléctrica en pendiente media.



Gráfica 18. Resistencia a la penetrabilidad en los sistemas en franjas con cerca eléctrica en pendiente plana.



De acuerdo con las Gráfica 16, se puede observar que en el sistema en franjas con cerca eléctrica en la pendiente alta a los 0 cm y 20 cm la RP es baja cuyos valores corresponden a 0.60 Mpa y 0.71 Mpa con valores de humedad gravimétrica de 273.85% y 139.21%, respectivamente, lo que quiere decir que estos suelos se caracterizan por presentar una ligera limitación para el desarrollo de las raíces.

En la pendiente media los valores mínimo y máximo de esta variable se presentan a una profundidad de 10 y de 30 cm cuyos valores corresponden a 0.55 y 0.60 Mpa, respectivamente, representado a través de estos valores una baja RP, con una ligera limitación para el desarrollo de las raíces, en donde estos registran una humedad gravimétrica de 331.36% y 53.68%, respectivamente y por último en la pendiente plana esta variable presenta valores de 0.64 Mpa y 1.20 Mpa a una profundidad de 30 y 0cm, respectivamente, que según el estimativo estos suelos presentan una baja y media RP, donde los suelos ubicados en esta pendiente presenta una ligera y moderada limitación con un % de humedad gravimétrica de 49.05% y 139.35 %.

Cabe resaltar que los suelos ubicados en la pendiente alta y media, relacionados al tratamiento testigo (bosque secundario) y al sistema en franjas con cerca eléctrica al ir aumentando la resistencia a la penetración la humedad gravimétrica va disminuyendo, indicando una relación inversamente proporcional entre estas

variables, lo que indica que a pesar de que presenta aumento de la RP con respecto a la profundidad, estos suelos al no tener valores máximos de RP presentan una baja RP y ligera limitación para el desarrollo de las raíces, lo que quiere decir que estos valores indican que el estado actual de estos suelos en estas pendientes no se evidencia altos niveles de compactación. La compactación causa cambios en las propiedades físicas del suelo, aumentando la resistencia a la penetración, la densidad aparente y reduciendo la porosidad (Patterson, 1977). A diferencia que en la pendiente plana en las dos primeras profundidades presenta valores de RP mayores a comparación de las siguientes profundidades en las que va disminuyendo, es decir que a mayor profundidad disminuye la RP, indicando que en estos suelos durante los primeros centímetros presenta una moderada limitación con respecto a la penetración de las raíces, lo que conlleva a que del mismo modo disminuya la humedad gravimétrica y a la vez se generen procesos de compactación, esto debido a que en la pendiente plana hay mayor nivel freático y por ende menor infiltración, esto a nivel de pendiente.

A nivel general de acuerdo a los sistemas evaluados (tratamiento testigo bosque secundario, sistema convencional y sistema en franjas con cerca eléctrica) en las diferentes pendientes, se puede deducir que con respecto a los promedios obtenidos, en la pendiente plana el sistema con más RP es el bosque secundario, la cual se encuentra relacionada en este caso con la presencia excesiva de raíces de los árboles, seguido del sistema en franjas con cerca eléctrica y finalmente el sistema convencional con promedios de RP 1.13, 0.91 y 0.77Mpa con % de humedad gravimétrica de 95.18, 85.56 y 65.12%, respectivamente.

En la pendiente media el sistema con mayor RP es el sistema en franjas con cerca eléctrica con un humedad gravimétrica de 156.14%, seguido del sistema convencional con 0.60Mpa y 178.73% y finalmente el tratamiento bosque secundario con una RP de 0.56Mpa y 141.22 de humedad gravimétrica, con lo que se puede deducir que según la investigación el sistema predominante en esta pendiente es el sistema en franjas con cerca eléctrica.

Y en cuanto a la pendiente alta el sistema que mayor incidencia tiene es el sistema en franjas con cerca eléctrica con una RP de 0.66 Mpa y una humedad gravimétrica de 178.1%, esto debido a que el ganado se encuentra ocupando un espacio y ejerciendo mayor presión en el suelo, seguido del sistema convencional con 0.61 Mpa y 214.61% y finalmente el tratamiento testigo bosque secundario con 0.57 Mpa de RP Y 157.63% de humedad gravimétrica.

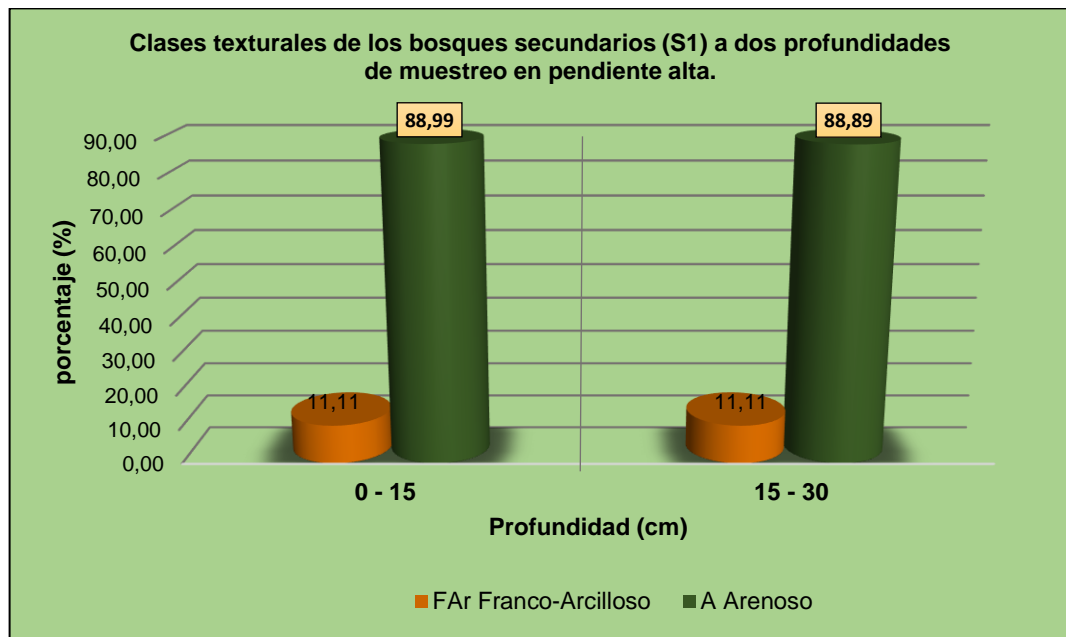
7.4 ANÁLISIS DE LA TEXTURA

Esta propiedad hace referencia a la proporción de los componentes inorgánico de diferentes formas y diámetros como arena, limo y arcilla, menores de 2 mm de diámetro (FAO, 2000).

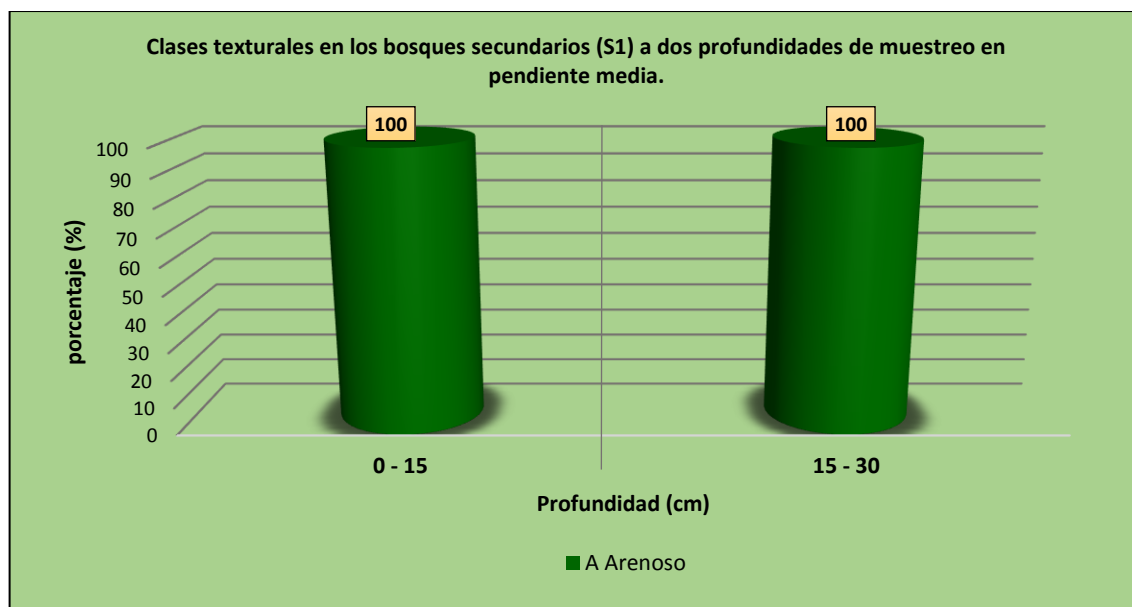
Para determinar la presencia de arena, se deduce por el grosor de la partícula que al friccionarse entre los dedos da una sensación de aspereza. El limo da una sensación de suavidad, similar a la mantequilla cuando se analiza en húmedo, mientras en seco da la sensación de pequeños terrones que se rompen fácilmente al friccionarlos. La arcilla en húmedo produce una sensación de plasticidad y pegajosidad, cuya intensidad varía dependiendo del tipo de arcilla (Valenzuela, Rodríguez, & Carrillo, 2013).

La textura determinada al tacto según las guías sugeridas por la Universidad Nacional de Ingeniería (Departamento de Ingeniería Agrícola), presento, los siguientes resultados.

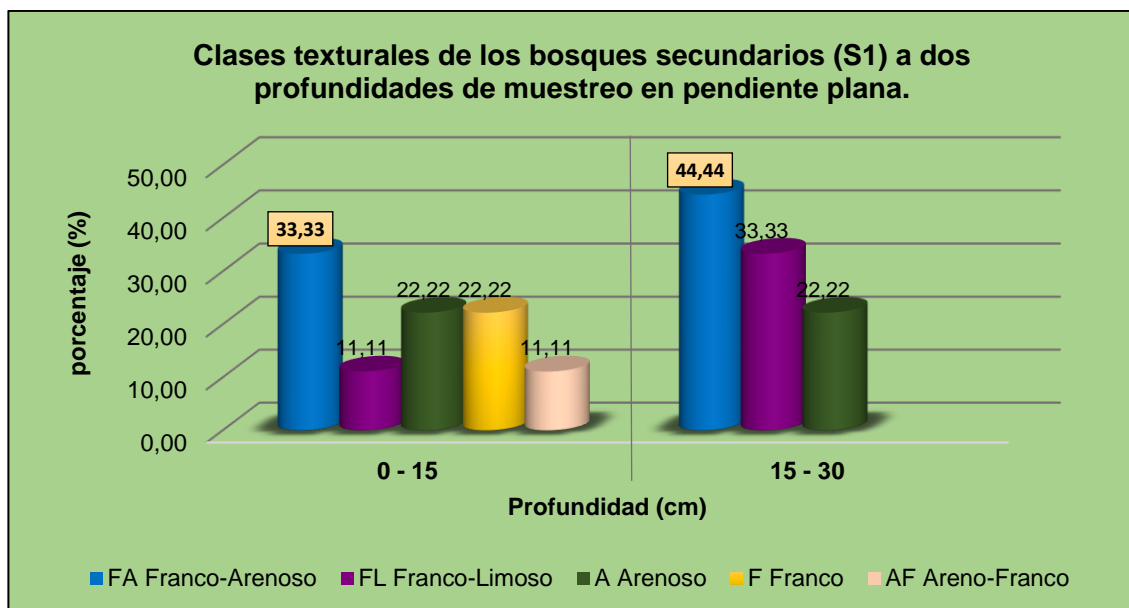
Gráfica 19. Clases texturales de los bosques secundarios (S1) a dos profundidades de muestreo en pendiente alta.



Gráfica 20. Clases texturales de los bosques secundarios (S1) a dos profundidades de muestreo en pendiente media.



Gráfica 21. Clases texturales de los bosques secundarios (S1) a dos profundidades de muestreo en pendiente plana.



Según las Gráficas 19, los resultados obtenidos de las muestras tomadas en los bosques secundarios evaluados a una profundidad de 0 a 15cm, presentaron en la pendiente alta y media una textura arenosa (A) con un porcentaje de 88.89%, 100%,

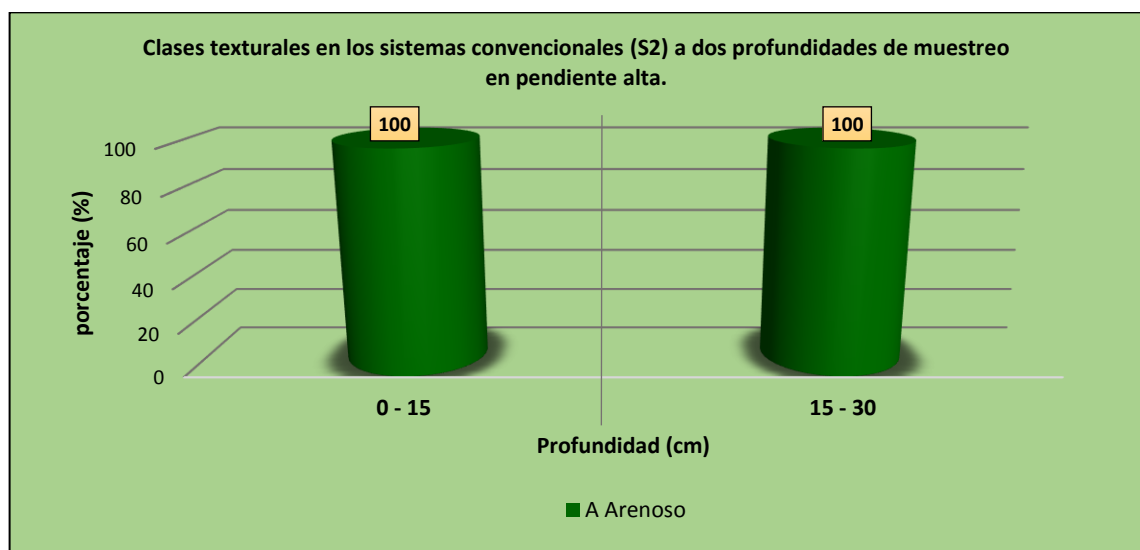
respectivamente, y en la pendiente plana franco arenosa (FA), con un 44.44%, lo que permite inferir a partir de estos valores que la textura que prevalece en las pendientes alta y media bajo en los bosques evaluados es la arenosa que de acuerdo a Buckman, Vera, W (1998) señala, que los suelos con esta textura presentan las siguientes características.

- Buena conductividad hidráulica
- Baja capacidad de retención de humedad
- Buena aireación
- Bajo contenido de nutrientes
- Baja capacidad de adsorción

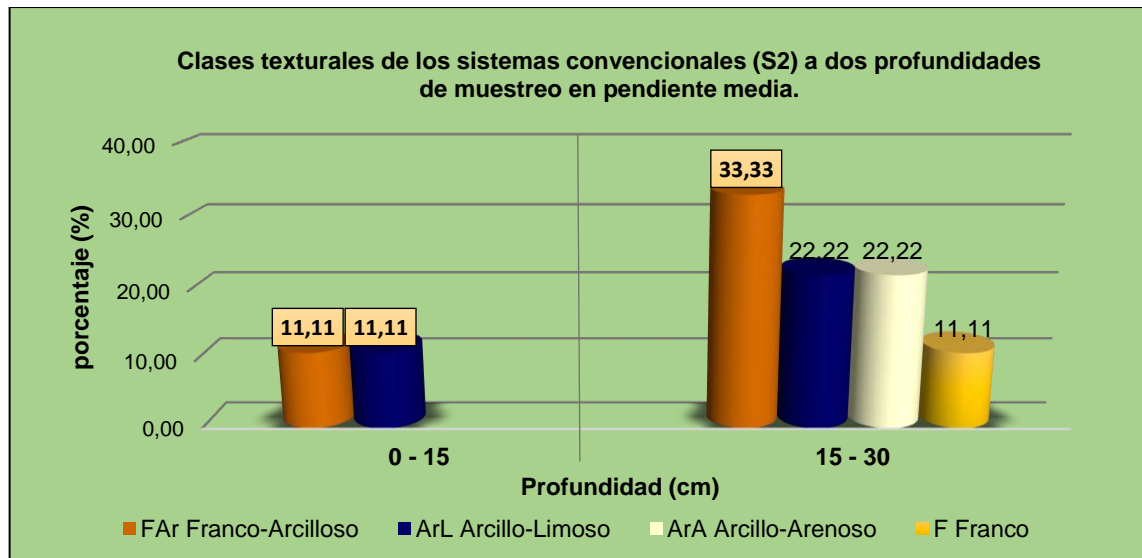
Mientras que en la pendiente plana los suelos de este sistema presentan un textura franco-arenosa, los cuales se caracterizan por permitir el drenaje fácilmente desde la superficie al interior del perfil de suelo, por el amplio espacio poroso que poseen y que a su vez retiene una humedad considerable para que las plantas puedan retener el agua para subsistir, ya que como menciona Buckman & Brady (1993), estos son con frecuencia demasiado sueltos y abiertos y moderados de absorber y guardar suficiente humedad y nutrientes.

Del mismo modo para profundidad de 15 a 30cm en pendiente alta y media la textura que las caracteriza es la arenosa (A) con los mismos porcentajes enunciados anteriormente para la profundidad de 0 a 15cm y, en la pendiente plana se presenta la misma textura de la primera profundidad pero con un mayor porcentaje que corresponde al 44.44%. De lo anteriormente mencionado se puede decir que a nivel de sistema, prevalece la textura arenosa.

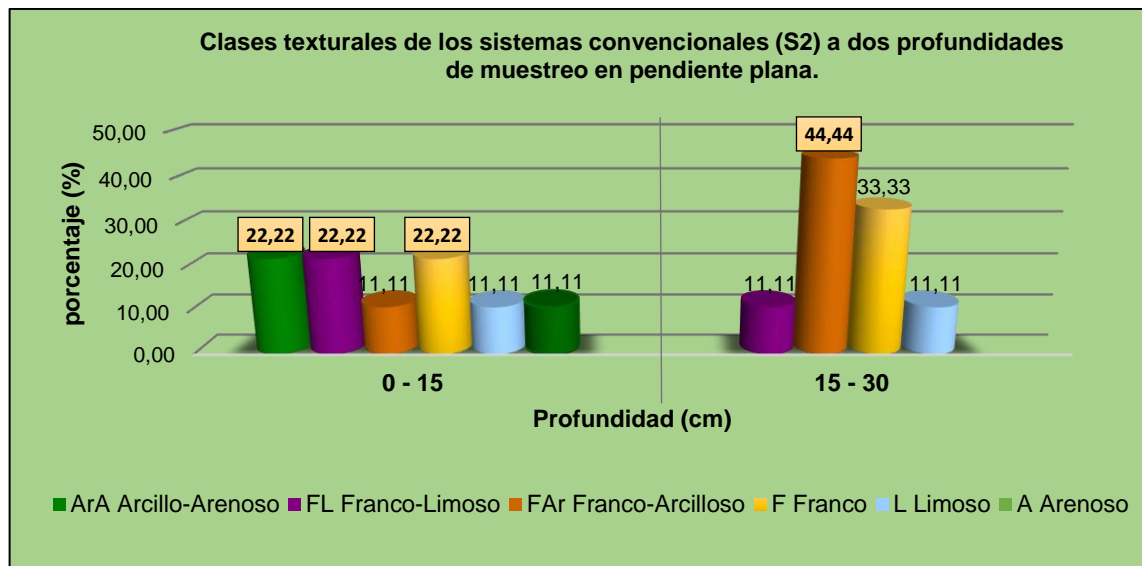
Gráfica 22. Clases texturales en los sistemas convencionales (S2) a dos profundidades de muestreo en pendiente alta.



Gráfica 23. Clases texturales en los sistemas convencionales (S2) a dos profundidades de muestreo en pendiente media.



Gráfica 24. Clases texturales en los sistemas convencionales (S2) a dos profundidades de muestreo en pendiente plana.



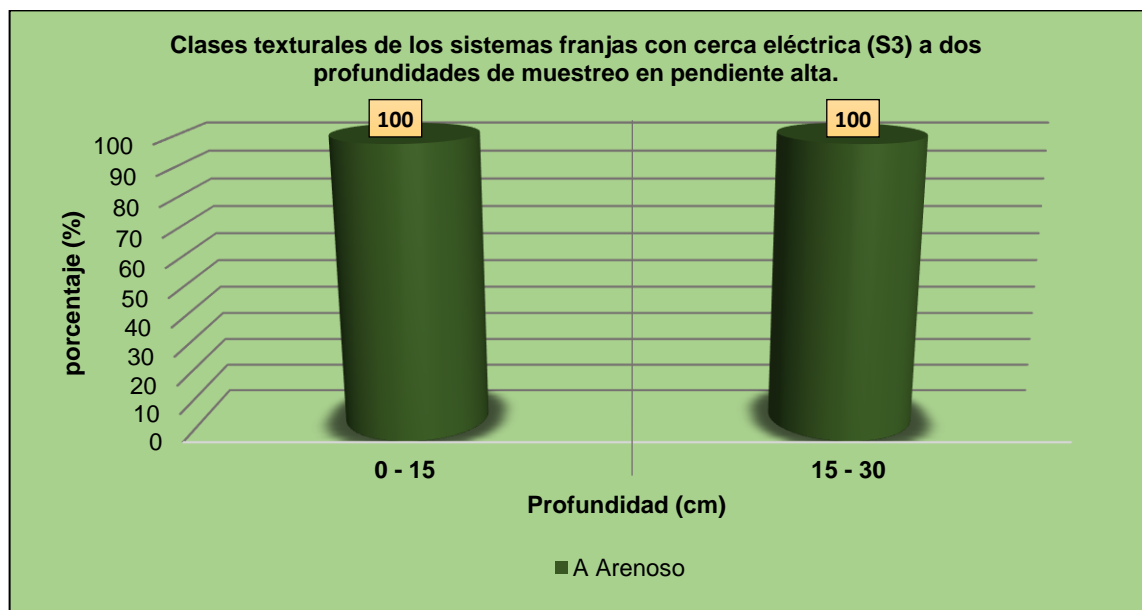
Según las Figuras 22 y 23, correspondientes a los sistemas convencionales ubicados a diferentes pendientes y analizados a una profundidad de 0 a 15cm, presentaron una textura arenosa (A) en la pendiente alta con un porcentaje de 100%, franco-arcillosa (FAr) y arcillo-limoso (ArL) con 11.11%, respectivamente en la pendiente media y arcillo-arenosa (ArA), franco-limoso (FL) y franca (F) en la pendiente plana, con un porcentaje de 22.22%, respectivamente. Con lo anterior se

puede deducir que la textura que predomina en los sistemas convencionales a esta profundidad es la arenosa (A).

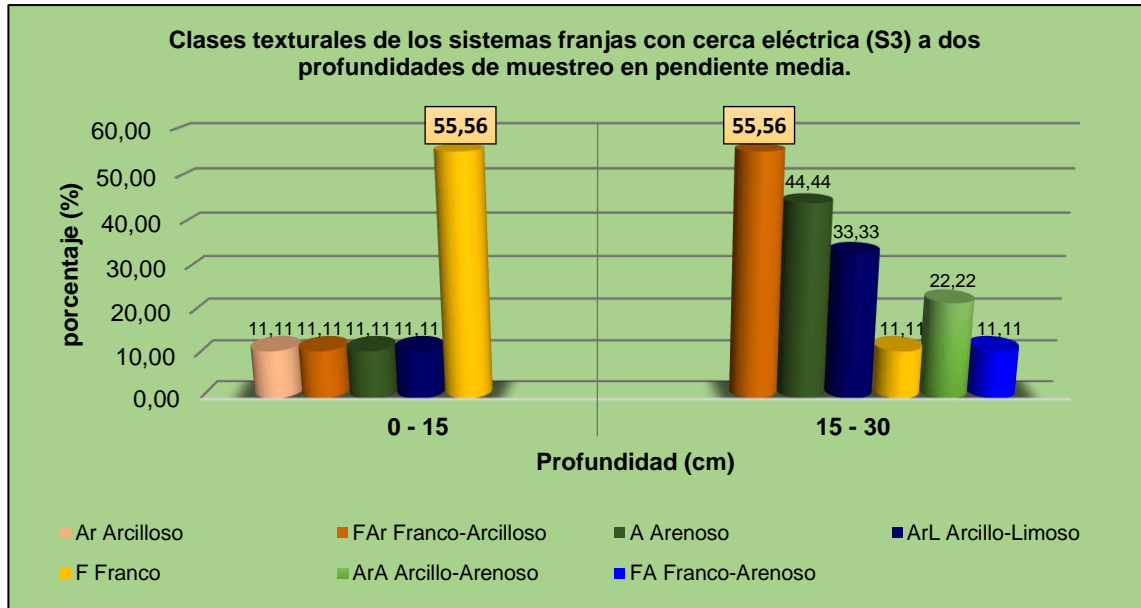
Con respecto a la profundidad de 15 a 30cm en la pendiente alta estos sistemas se caracterizan por poseer una textura arenosa (A) con un porcentaje del 100%, en la pendiente media y plana este sistema presenta una textura franco-arcillosa (FAr) con porcentajes de 33.33% y 44.44%, respectivamente, representando un total de 77.77% para esta textura. De lo cual se puede decir que a nivel de pendiente la textura predominante en la alta es la arenosa (A), mientras que en la media y plana predomina la textura franco-arcillosa (FAr) y a nivel de sistema a estos suelos los caracteriza una textura arenosa en mayor porcentaje.

Al tener estos suelos las texturas más sobresalientes antes mencionadas, estas mismas le infieren al suelo una textura aceptable, por lo que tienen mayores posibilidades de tener o poder adquirir una buena estructura y de poder satisfacer las exigencias medias del crecimiento vegetal con las labores culturales normales (Scalone, s.f).

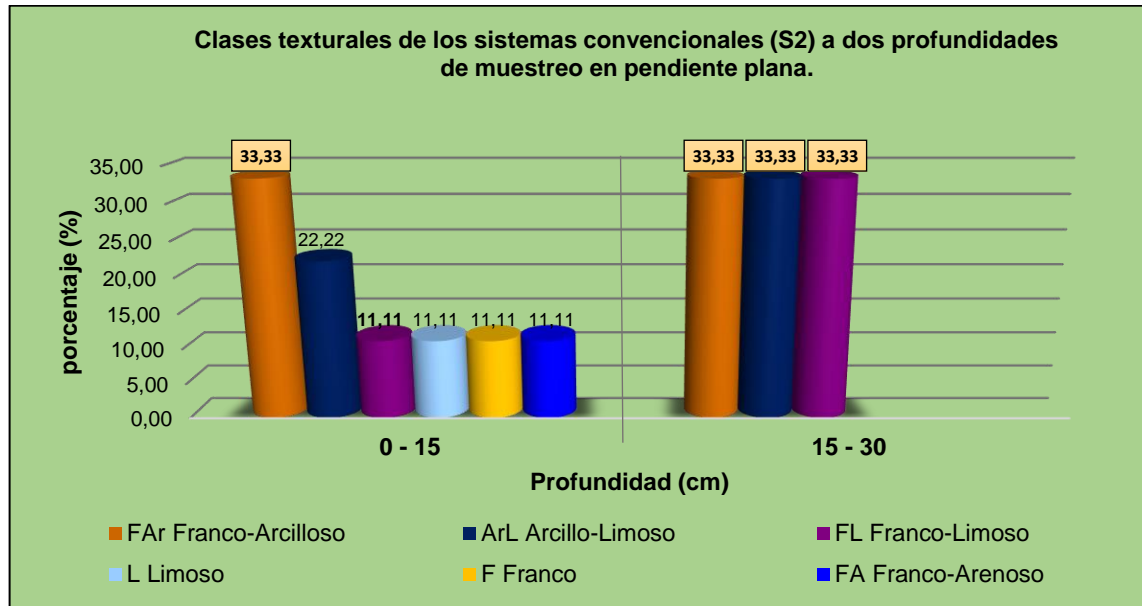
Gráfica 25. Clases texturales de los sistemas franjas con cerca eléctrica (S3) a dos profundidades de muestreo en pendiente alta.



Gráfica 26. Clases texturales de los sistemas franjas con cerca eléctrica (S3) a dos profundidades de muestreo en pendiente media.



Gráfica 27. Clases texturales de los sistemas franjas con cerca eléctrica (S3) a dos profundidades de muestreo en pendiente plana.



Según las Figuras 25, 26 y 27, correspondientes a los sistemas en franjas con cerca eléctrica ubicados a diferentes pendientes y que fueron analizados a una

profundidad de 0 a 15cm, presentaron una textura arenosa (A) en la pendiente alta con un porcentaje de 100%, en la pendiente media predominó la textura franca con el 55.56% y en la pendiente plana la textura que presentó mayor porcentaje fue la franco-arcillosa con un 33.33%. Con lo anterior se puede deducir que la textura que predomina con mayor porcentaje en los sistemas en franjas con cerca eléctrica a esta profundidad es la arenosa (A).

Por lo anteriormente expuesto, a nivel general con respecto a la zona de estudio, se deduce que estos suelos se caracterizan por poseer una textura arenosa (A).

De las muestras de texturas analizadas, y con base a las categorías generales de suelo y clases texturales (Tabla 55), se deben considerar los rangos de erosionabilidad que poseen cada una de ellas (Tabla 6), ya que los tamaños y compuestos de las partículas, reaccionan de distinta forma frente a los agentes erosivos. De acuerdo a esto, aquellas texturas catalogadas como arenosas o arenos francos poseen una muy alta susceptibilidad a la erosión, debido a que las fracciones gruesas de suelo están desagregadas, lo que genera menores posibilidades de fusión o cohesión de las partículas.

Tabla 55. Rango de erosionabilidad según la clase de textura.

CATEGORIAS GENERALES	CLASES TESTURALES	NIVELES DE EROSIONABILIDAD
SUELOS ARENOSOS	Arenosa (ag, a, af, amf)	Muy alta
Textura gruesa	Areno francosa (aFg, aF, aFf y aFmf)	
SUELOS FRANCOSES		
Textura moderadamente gruesa	Franco arenosa (Fag, Fa, Faf).	Alta
Media	Franco arenosa muy fina y limosa (Famf), Franca, Franco limosa y Limosa	Moderada
Fina	Franco arcillosa, Franco Arcillo arenosa, Franco arcillo limosa.	Baja
SUELOS ARCILLOSOS	Arcillo arenosa, arcillo	Muy baja
Textura fina	Limosa, arcillosa.	

Fuente. Según Vera, W (1998).

Tabla 56. Erosionabilidad de sistemas de manejo ganadero.

Pen.	Prof.	Sistema	Textura	Erosión.	
ALTA	0-15cm	Bosque secundario (S1)	Arenoso (A)	Muy alta	
		convencional (S2)	Arenoso (A)	Muy alta	
		Franjeo (S3)	Arenoso (A)	Muy alta	
	15-30cm	Bosque secundario (S1)	Arenoso (A)	Muy alta	
		Convencional (S2)	Arenoso (A)	Muy alta	
		Franjeo (S3)	Arenoso (A)	Muy alta	
MEDIA	0-15cm	Bosque secundario (S1)	Arenoso (A)	Muy alta	
		Convencional (S2)	Franco-Arcilloso (FAr)	Baja	
			Arcillo-Limoso (ArL)	Baja	
	15-30cm	Franjeo (S3)	Franco (F)	Moderada	
		Bosque secundario (S1)	Arenoso (A)	Muy alta	
		Convencional (S2)	Franco-Arcilloso (FAr)	Baja	
PLANA	0-15cm	Franjeo (S3)	Franco-Arcilloso (FAr)	Baja	
		Convencional (S2)	Bosque secundario (S1)	Franco-Arenoso (FA)	Alta
			Arcillo-Arenoso (ArA)	Baja	
			Franco-Limoso (FL)	Moderada	
	15-30cm	Franco (F)	Baja		
		Franjeo (S3)	Franco-Arcilloso (FAr)	Baja	
		Bosque secundario (S1)	Franco-Arenoso (FA)	Alta	
		Convencional (S2)	Franco-Arcilloso (FAr)	Baja	
		Franjeo (S3)	Franco-Arcilloso (FAr)	Baja	
Arcillo-Limoso (ArL)	Baja				
Franco-Limoso (FL)	moderada				

8. CONCLUSIONES

- Las formas de degradación más frecuentes en el área de estudio fueron la erosión del suelo generado por caminos del ganado erosionados y presencia de terracetas, erosión (superficial y por remociones en masa) acentuándose en mayor porcentaje en las áreas próximas a bebederos y saladeros.
- El pisoteo del ganado en un suelo húmedo genera una compactación superficial, lo que contribuye a reducir aún más la infiltración del agua y aumentar la escorrentía; además, el terreno semi descubierto se vuelve más resbaladizo para el ganado, lo que conduce a mayor erosión de la superficie del suelo, a destruir el pasto.
- En los sistemas (sistema convencional, sistema en franjas con cerca eléctrica) con respecto al tratamiento testigo bosques secundarios, en relación a las variables físicas evaluadas en estos suelos, el sistema con mayores repercusiones sobre este recurso y debido a su inadecuada planificación es el sistema convencional, en este a su vez la resistencia a la penetración en los tres tipos de pendiente y a nivel de profundidad aumenta en relación con la humedad gravimétrica, destacando que este sistema tiene mayor RP con un valor promedio de 0.77Mpa, teniendo en cuenta que este valor no altera la penetración de las raíces ya que presenta con una limitación moderada de las mismas.
- Con respecto al resto de propiedades físicas, se puede determinar que estos suelos presentan valores ideales de densidad aparente de 0.58g/cm^3 con textura arenosa facilitando la infiltración del agua, la porosidad y conductividad hidráulica, y una óptima densidad real con un valor de 1.37g/cm^3 .
- En cuanto a las propiedades químicas, los suelos evaluados alto contenido de materia orgánica con un porcentaje de 19.63% en relación nitrógeno total con 0.60% carbono orgánico con 11.39% y capacidad de intercambio catiónico con 41.76%, presentándose estas variables en buenas condiciones dentro del suelo; al igual estos suelos tienen una deficiencia en bases intercambiables (Ca, Mg y K) con valores de 2.56 cmol/g^{-1} , 0.63 cmol/g^{-1} y 0.33 cmol/g^{-1} , respectivamente, siendo estos valores inferiores a los estimativos presentes, además presentan una alta toxicidad de Fe con valor promedio de 250.33mg/kg , asociado a un bajo nivel pH presente en los suelos con un valor de 4.96 correspondiente a suelos muy fuertemente ácidos.
- Desde el enfoque ambiental, el suelo debe ser visto como un sistema, teniendo en cuenta sus funciones y servicios ecosistémicos, considerando el componente social, económico, ambiental y cultural, resaltando la importancia de encontrar un equilibrio entre la producción ganadera y el desarrollo sostenible para contribuir a la restauración, recuperación y conservación de los suelos.

9. ESTRATEGIAS

ALTERNATIVAS DE MANEJO AMBIENTAL				
PRACTICA DE CONSERVACIÓN	OBJETIVO	ALTERNATIVAS	ACTIVIDADES	EFECTOS SOBRE EL SUELO
SISTEMAS SILVOPASTORILES (PENDIENTE MEDIA Y ALTA)	<p>Brindar servicios ambientales para la conservación del recurso suelo</p> <p>Revertir los procesos de degradación de los pastizales</p>	<p>El estrato alto o arbóreo (cerkas vivas): Sauce (<i>Salix humboldtiana</i>) Eucalipto (<i>Eucalyptus globulus Labill</i>) Urapán (<i>fraxinus chinensis</i>) Aliso (<i>Alnus glutinosa</i>)</p> <p>El estrato medio o arbustivo: Botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)</p> <p>El estrato herbáceo, de gramíneas o de pastos de pastoreo: Kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>) Puntero (<i>Hyparrhenia rufa</i>) Miel (<i>Paspalum dilatatum</i>)</p>	<p>Manejo de gramíneas acompañados con árboles y arbustos.</p> <p>Generar procesos de investigación en este tipo de sistemas para la zona en estudio (adaptabilidad de plantas, especies promisorias)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reciclaje de nutrientes. Mayor deposición de materia orgánica, contribuye a modificar las características físicas del suelo como su estructura. ➤ Fijación de N. las leguminosas se asocian con bacterias del género <i>Rhizobium</i> para captar nitrógeno atmosférico haciendo disponible para las gramíneas en el suelo. ➤ Profundidad de las raíces. el sistema radicular extendido y profundo de los árboles, aumenta el área disponible para captar agua y nutrientes. ➤ Acción de micro y macro fauna. mayor presencia de materia orgánica en el suelo. La endofauna, contribuye a mejorar la estabilidad del suelo y capacidad de infiltración de agua. ➤ Mitigación de los efectos del pisoteo del ganado <ul style="list-style-type: none"> ✓ Control de los procesos erosivos generados por el pisoteo. ✓ Reducción de impacto de la lluvia al suelo ✓ Aumento de la infiltración ✓ Permanencia de materia orgánica sobre la superficie del suelo ✓ Efecto agregado de las partículas del suelo. <p>al aumentar la protección física del suelo y contribuir a la recuperación de la fertilidad con la intervención de leguminosas que fijan el nitrógeno al suelo y de árboles de raíces pivotantes que aprovechan las capas profundas y reciclan los nutrientes.</p>

<p style="text-align: center;">SISTEMA ROTACIONAL (PENDIENTE PLANA)</p>	<p>Brindar servicios ambientales para la conservación del recurso suelo</p>	<p style="text-align: center;">Sistema en cerca eléctrica</p>	<p>Manejo de las praderas, mediante la regulación de los tiempos de ocupación (entre 3 a 5 días) y regulando el tiempo de descanso entre 30 a 45 días (recuperación de praderas), catalogado así como un sistema productivo sostenible.</p> <p>Distribuir geográficamente bajo control, pero con buena disponibilidad de forraje y agua, en cantidad y calidad, para que puedan satisfacerse en poco tiempo y en menor espacio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ayuda a evitar que la actividad ganadera contamine las fuentes y los cauces de agua, y además, mejora la distribución de la fertilización orgánica producida por el estiércol y la orina de los animales, evitando el sobrepastoreo, ➤ Permite que el ganado pascen en un apartado mientras los demás apartos permanecen cerrados, recuperándose para un nuevo pastoreo.
<p style="text-align: center;">MANEJO DEL RECURSO SUELO</p>	<p>Mejorar las propiedades químicas en relación a bases intercambiables (Ca y Mg).</p>	<p style="text-align: center;">Uso de enmiendas</p>	<p>Aplicación de cal dolomítica (CaCO₃.MgCO₃)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Reducción de la solubilidad de aluminio y el hierro. ➤ Disposición de nutrientes para la asimilación de plantas. ➤ Provee calcio y magnesio que permite corregir la acidez del suelo (Regulación del pH)
<p style="text-align: center;">MANEJO DEL RECURSO AGUA</p>	<p>Conservar de la mejor forma estas zonas de las fincas y utilizar herramientas para el uso racional de este recurso como los bebederos sustitutos.</p>	<p style="text-align: center;">Bebederos móviles</p>	<p>Bebederos con flotador Sistema intensivo estabulado</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se hace buen uso de cantidades limitadas de agua. ➤ Proporciona agua limpia lejos de áreas bajas húmedas. ➤ El agua puede ser colocada al terreno mejor para beneficiar el manejo del pastoreo y el comportamiento animal. ➤ Incrementar el número de bebederos con el fin de abastecer a más bovinos y evitar así el sobre pisoteo.

<p style="text-align: center;">COMPONENTE SOCIAL</p>	<p>Sensibilizar a los propietarios de las fincas en el manejo de los sistemas ganaderos.</p>	<p style="text-align: center;">Capacitaciones Charlas</p>	<p>Suministrar información sobre la presente investigación</p> <p>Entrega de resultados</p>	<p>Generar concientización en los productores acerca del manejo adecuado referente a los sistemas ganaderos</p> <p>Fomentar una adecuada planificación de las fincas ganaderas</p> <p>Evitar la expansión de la frontera agropecuaria con la tala de bosques nativos para el establecimiento de pastizales, por el contrario proteger e incrementar la vegetación nativa en la cabecera de los nacimientos, orillas de fuentes de agua, ríos y quebradas.</p>
--	--	---	---	---

10. BIBLIOGRAFIA

- Moore et al. (1957). *Investigación sobre algunas relaciones entre el cobre, hierro y molibdeno en el crecimiento y nutrición de las plantas*. Ohio: Sociedad Americana de las ciencias del suelo.
- AGRICULTURERS. (19 de 11 de 2014). *La importancia de la materia organica en el suelo*. Obtenido de AGRICULTURERS. Rede de especialistas en agricultura: <http://agriculturers.com/la-importancia-de-la-materia-organica-en-el-suelo/>
- Aguilar, J. (04 de 02 de 2003). *Influencia del uso del suelo en su calidad ambiental en medio semiárido (Murcia SE España)*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2010000100021&lng=pt&tlng=es.
- Aguilera, N. (1989). *Tratado de Edafología de México*. Tomo I, Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México.
- Aguilera, S. (04 de 02 de 2000). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006
- Ahumada. (1999). *Extracción secuencial de metales pesados en el suelo irrigado con aguas residuales*. Commun soil sci.
- Alfaro, M., & Bernier , R. (2008). *Enmiendas calcáreas y estimacion de dosis de aplicacion* . Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a15.pdf>
- Alianza para la Seguridad y la Prosperidad de América del Norte ASPAN. (02 de 02 de 2003). *Desertificación y sociedad civil*. Obtenido de Fundación del Sur: http://www.aspan.org.br/riodbrasil/pt/documentos/Desert_y_Soc_Civil.pdf
- Almorox, J., Lòpez, F., & Rafaelli, S. (14 de 03 de 2010). *La degradacion de los suelos por ersiòn hídrica, mètodos de estimaciòn*. Obtenido de Google Books: <https://books.google.com.co/>
- Amézquita, E., Friezen, D., & Sanz, J. (2004). Sustainability indicators: Edaphoclimatic parameters and diagnosis of the cultural profile. En E. Ghuimaraes, J. Sanj, I. Rao, M. Amezquita, E. Amezquita, & R. Thomas, *Agropastoral systems for the tropical savannas of Latin America* (pág. 347 P). Cali, Colombia: CIAT.
- Andreas, G. (2015). *"fertilizantes"*. *Consultoría Agraria de K+S KALI GmbH*. IAPN. Estados unidos: Consultoría Agraria de K+S KALI GmbH. IAPN.
- Angeles et al. (S.f). *Determinacion de la densidad real y porosidad del suelo*. Obtenido de Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas: <https://es.slideshare.net/kryzdfagg/densidad-real-y-aparente>
- Angeles, C., Hernandez, J., Ochoa, M., & Morales, A. (2010). Edafología: Determinación de la densidad real, porosidad del suelo y humedad gravimétrica. Chiapas, Mexico: Universidad de ciencia y artes de Chiapas: Facultad de ciencias biologicas.

- Arias, H. (04 de 02 de 1990). *Desarrollo e implementaciòn de la ganaderìa intensiva, para una mejor comercializaciòn de carne bovina en la finca " El cortijo las Marias"*. Obtenido de Universidad Autònoma de Occidente: http://handbook.usfx.bo/nueva/vicerrectorado/citas/ECONOMICAS_6/Administracion_de_Empresas/12.pdf
- Arias, R. (2006). *Environmental factors affecting daily water intake on cattle finished in feedlots.* . Nebraska, USA.: Master Thesis, University of NebraskaLincoln.
- Atwell, B. J. (1993). Response of roots to mechanical impedance. *Environmental and Experimental Botany.*
- Balcàzar, A. (1992). *La ganaderìa extensiva y el problema agrario. El reto de un modelo de desarrollo rural sustentable para Colombia.* Obtenido de Universidad de la Salle: <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ca/article/view/350/281>
- Baver et al. (1991). *Física de suelos.* Mèxico: Limusa.
- Bayon, C. (15 de 02 de 2012). *El magnesio, un macroelemento a redescubrir para su aplicaciòn en cereales.* Obtenido de vida rural: <http://www.kali-gmbh.com/es/pdf-articulos/article-20120323-vida-rural-magnesio-macroelemento-aplicacion-cereales.pdf>
- Benintende et al. (2008). *Estimaciòn del aporte de nitrògeno del suelo para la fertilizaciòn racional de cultivos.* Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300325#B22
- Bertsch. (1986). *Manual para interpretar las calidad de suelos de Costa Rica, San José.* Obtenido de Infoagro: <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Suelos/SUE-LOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>
- Bonneau, M., & Levy, G. (1979). *Asamblea y organismo físico de partículas.* Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n4/2395-8030-tl-29-04-00369.pdf>
- Botta et al. (2007). *Aplicacion del tràfico controlado en la cosecha de maiz (Zea mays L.), Efecto sobre rendimientos del cultivo y las propiedades físicas del suelo.* Revista Agro-Ciencia.
- Bouma, J., & Van Lanen, J. (1987). *Funciones de transferencia y valores de umbral: desde las características del suelo hasta las cualidades de la tierra.* Obtenido de Evaluación cuantificada de la tierra. International Institute Aerospace Surv.: www.ussl.ars.usda.gov/MODELS/rosetta/rosetta.htm [Citado 15 may., 2002].
- Boza et al., C. (08 de 2016). *Impacto en el medio ambiente de las actividades agropecuarias en el Cantón El Empalme, Ecuador.* Obtenido de Revista Caribeña de Ciencias sociales: <http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/08/ganaderia.html>
- Brady, N., & Weil, R. (1999). *Naturaleza y propiedades de los suelos.* New Jersey.
- Brady, N., & Weil, R. (1999). *The nature and properties of soils.* Obtenido de new Jersey, Prentice-Hall: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf>
- Bremmer, J., & Mulvaney, C. (1982). *métodos de anàlisis de suelos parte II.* Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v45n6/v45n6a1.pdf>

- Briceño, O. (2002). *Evaluación de diferentes coberturas vivas como barbechos mejorados en un sistema de labranza conservacionista y su relación con las propiedades químicas de dos suelos de textura contrastantes del estado Guárico*. Trabajo de Grado. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, Maracay. 71 p.
- Briseño et al. (2004). *Manual de fertilidad de suelos*. Bogotá.
- British, J. (2002). *Criterios de calidad de suelos, aluminio*.
- Brown-Brandl TM, J. N. (2006b). *Comparison of heat tolerance of feedlot heifers of different breeds*. *Livest Sci* 105, 19-26.
- Bruckler, L. (1998). *Se transfiere al suelo*. Obtenido de Instituto Nacional de Inverstgacion Agronomica:
<https://www.google.com.co/search?q=traductor&oq=traductor&aqs=chrome.69i59j69i61.3023j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- Buckman, H., & Brady, N. (1993). *"Naturaleza y Propiedades de los Suelos"*. 5ª Edición. México. U.T.E.H.A. Pp. 590.
- Burbano Orjuela, H. (1989). *Capítulo I: El sistema suelo. El suelo una vicion sobre sus componentes biorganicos*. Pasto Colombia: Universidad de Nariño. Pag. 29.
- Burbano, F., & Cadena, W. (2009). *Determinacion de las características edafoclimaticas que garantizan la producción y calidad nutritiva del pasto brasilero (Phalaris sp), en condiciones de no intervencìon, en un rango de altitud comprendida entre 3050-3300 m.s.n.m.* Guachucal, Nariño.
- Burbano, H. (2001). *Lo bio organico en el manejo productivo del suelo*. Palmira: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Calle, E. M. (s.f.). *Diversidad biológica en sistemas de ganadería bovina en Colombia. Agroforestería para la Producción Animal en Latinoamérica*, 27.
- Calva. (1988). *Los campesinos y su devenir en las economías de mercado*.
- Carrasco. (1992). *El suelo como sistema químico*. Chile: Publicaciones Miscelaneas.
- Carrillo, J. (14 de 07 de 2003). *Impacto de la explotación ganadera*. Obtenido de Universidad Nacional de Catamarca:
<http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/008-Impacto-explotacion-ganadera.pdf>
- Castro. (2008). *Productividad de pasturas y produccion de leche bovina bajo pastoreo de gramínea*. *revista de medicina veterinaria y zootecnia*, 9-21.
- Castro Franco, H. E., & Gómez Sánchez, M. I. (2013). *Capitulo IV, Fertilidad de suelos y fertilizantes*. Santafé de Bogotá pag. 274: *Ciencia del suelo, principios básicos, segunda Edicion*. Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo.
- Castro, H., & Gomez, M. (2010). *Fertilidad de suelos y fertilizantes*. En *Sociedad Colombiana de la ciencia del Suelo*. (págs. pp 217- 298.). Bogotá, D.C.: *Principios básicos, segunda edición*.
- Cedeco. (2005). *Preparación y uso de abonos orgánicos sólidos y líquidos*. En C. E. Costarricense. San José, Costa Rica: *Serie de agricultura orgánica N° 8*.
- Charry, J. (1987). *Naturaleza y propiedades físicas de los suelos*. En U. N. Colombia. Palmira.

- Chavez, J. M. (2003). Manejo de agua para ranchos ganaderos en zonas aridas de baja california. *Instituto Nacional de Investigaciones forestales agricola y pecuaria*, 24.
- Cheam. (1973). *Estudio de quelatación del sistema de ácido fúlvico de cobre*. Canadá: Asociacion canadiense de la ciencia del suelo.
- CIPAV. (2003). *Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución*. Cali, Colombia.: Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles .
- Claver et al. (1989). *Impacto de la actividad ganadera*. Obtenido de Universidad de la Salle: <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/008-Impacto-explotacion-ganadera.pdf>
- Constitucion Política de colombia. (1991). Obtenido de <http://www.corteconstitucional.gov.co>. Obtenido de <http://www.corteconstitucional.gov.co>: <http://www.corteconstitucional.gov.co/inicio/Constitucion%20politica%20de%20Colombia%20-%202015.pdf>
- CORPOAMAZONIA . (08 de 2009). *Ordenamiento Territorial*. Obtenido de Documento de Seguimiento y Evaluación del Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de San Francisco.: http://www.corpoamazonia.gov.co/files/Ordenamiento/POT/Exp_Municipal_San%20Francisco.pdf
- Cortez , A. (15 de 07 de 2010). *Apuntes de Clases de Geología Agrícola*. Obtenido de Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica: <https://es.scribd.com/doc/34404184/remocion-en-masa>
- Coyne, M. (2000). *Microbiología del suelo: Un enfoque exploratorio*. Madrid, España: Ed. Paraninfo.
- Cross. (1971). *Suelo y erosión*. Obtenido de Scielo: <http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0718->
- Da Rocha, H. (1973). *Mapificación, caracterización y clasificación de los suelos organicos del Valle de Sibundoy*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.Instituto Colombiano Agropecuario.
- Da Rocha, H. O. (1973). *“Mapificación, caracterización y clasificación de los suelos organicos del Valle de Sibundoy” Tesis para optar por el título de magister scientiae*. Bogotá: Universidad nacional de Colombia – Instituto Colombiano Agropecuario.
- Den Biggealar et al., 2004, C., & Jagadamma et al., 2009, S. (s.f.). *Efectos de la erosión en las propiedades del suelo*. Obtenido de Revista Electrónica AgroSur: http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?pid=S0304-88022011000100001&script=sci_arttext
- Denoia, J., Sosa, O., & Zerpa, G. y. (2000). *Efecto del pisoteo animal sobre la velocidad de infiltración y sobre otras propiedades físicas del suelo*. . Pastos XXX (1): 129-141.
- Diaz, G., Ruiz, M., & Cabrera, J. (2009). *Modificaciones a las propiedades físicas del suelo por la acción de diferentes prácticas productivas para cultivar arroz (Oryza sativa L.)* . cultrop. 30 (3).

- Difinigenart. (s.f). *El exceso de hierro en suelo*. Obtenido de Difinigenart: <http://www.digfineart.com/aDbaaNQbg/>
- Doncel. (1996). *Relación del contenido de boro soluble con distintos parametros edaficos y ambientales del suelo*. Obtenido de Munibe ciencias naturales: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1736/Rubio%20-%20Vanzetti%20-%20Disponibilidad%20de%20boro%20en%20un%20suelo%20de%20Justiniano%20Posse%20y..%20%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Doran, J., & zeiss, M. (04 de 02 de 2000). *Impotancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: Experiencias en Sistemas silvopastoriles*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392013000100006
- Dorner, J., & Horn, R. (2006). *Anisotropía de las funciones de poro en Luvisoles Stagnic estructurados en la región de la morrena de Weichselien en N Alemania*. Obtenido de Scielo.Revista científica: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912007000200001
- Dregne, H. (06 de 04 de 1978). *Sobrepastoreo*. Obtenido de Ambiente y algo mas: <http://edithgonzalezsalazar.blogspot.com.co>
- Duarte, R. (2003). Solubilización microbiana de fosfatos en la perspectiva del maenjo ecologico. *Programa de escuela de sistemas de comercialización y producción agropecuaria*. Cauca, Colombia: Funcop.
- El Espectador. (26 de 01 de 2017). *La ganadería extensiva está acabando con los bosques en Colombia*. Obtenido de El Espectador: <http://blogs.elespectador.com/medio-ambiente/mongabay-latam/la-ganaderia-extensiva-esta-acabando-los-bosques-colombia>
- Emerson, W. (1959). The structure of soil crumbs. J. Soil Sci-10.
- Esquema de Ordenamiento Territorial municipio de San Francisco. EOT. (2010). *Diagnostico General*. Obtenido de Municipio de San Francisco: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico%20-%20san%20francisco%20\(43%20pag%20-%201271%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico%20-%20san%20francisco%20(43%20pag%20-%201271%20kb).pdf)
- Esquivel, J., & Lacorte, S. (2010). *Cambio climático, afectaciones y oportunidades para la ganadería en Cuba*. Obtenido de Scielo: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942011000200001
- Estrada, G. (1990). *Elementos secundarios: calcio, magnesio, azufre. fundamentos e interpretación de analisis de suelos, plantas y aguas para riego*. Bogota: Tercera.
- Evans, R. (1980). *Efecto del gradiente y aspecto de la pendiente en al erosión hídrica de un suelo del secano, interior de la zona central de Chile*. Obtenido de Universidad de Chile: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/lopez_af/sources/lopez_af.pdf
- Everett. (1983). *Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica*. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/pdf/436/43629109.pdf>
- Fageria et al. (2002). *Los micronutrientes en la producción de cultivos*. Madrid: El sevier.

- FAO. (1996). Uso del arado de cincel para la producción agrícola y la conservación de suelos y agua. *Ministerio de agricultura y ganadería (MAG)*, 15-17.
- FAO. (2000). "Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos". Boletín de Tierras y Aguas de la FAO 8. Instituto Internacional de Agricultura Tropical. .
- FAO. (2002). *los fertilizantes y su uso: una guía de bolsillo para los oficiales de extensión*. Roma: Cuarta Edición.
- FAO. (2009). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. *La ganadería, a examen*.
- Flint, 1984, C., Muller, & Hamilton. (1992). *Desarrollo y Calibración de un orificio irregular a granel. muestreador de densidad*. Obtenido de La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Frey, G., Fassola, H., Pachas, N., Colcombet, L., Lacorte, S., Cubbage, F., & Perez, O. (2008). Percepciones de los sistemas de silvopastura en el noreste de Argentina. *Jornadas técnicas forestales y ambientales*.
- Galiano, E. (03 de 02 de 1985). *Los riesgos del sobrepastoreo*. Obtenido de Diario El País: http://elpais.com/diario/1985/02/03/agenda/476233205_850215.html
- García . (2003). *Manejo de suelos salinos: características, propiedades y manejo*. Lima: Corporación Misti.
- García, E. (2011). "Evaluación del impacto del uso ganadero sobre suelo y vegetación en el sistema agroforestal Quesungual (SAQ) en el sur de Lempira, Honduras". En L. (. 2002, *Tesis para optar por el grado de Magister Scientiae en Agroforestería Tropical, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) Escuela de posgrado*. Turrialba Costa Rica.
- García, E. (2011). *Evaluación del impacto del uso ganadero sobre suelo y vegetación en el sistema agroforestal Quesungual (SAQ) en el sur de Lempira, Honduras*". Obtenido de Tesis para optar por el grado de Mgister Scientiae en Agroforesteria Tropical, Centro Agronomico Tropical de Investigaciion y Enseñanza (CATIE) Escuela de posgrado Turrialba Costa Rica.
- García, I., Sánchez, M., Vidal Díaz, M., & Betancourt. (2010). Efecto de la compactación sobre las propiedades físicas del suelo y el crecimiento de la caña de azúcar. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*.
- Gavilan, M. (2004). *Tratado de cultivo sin suelo*. España: Mundi-Prensa, p.122.
- Gayoso, J., & Alarcón, D. (1999). *Guía de conservación de suelos forestales*. Obtenido de Universidad Austral de Chile: <https://es.scribd.com/document/233190222/Guia-de-Conservacion-de-Suelos-Forestales>
- Gerber et al. (2013). *Enfrentando el cambio climático a través de la ganadería*. Obtenido de Una evaluación global de las emisiones y oportunidades de mitigación: <https://www.journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/download/1212/2466>
- Gerber et al., M. (2013). *Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia*.
- Gil-Stores, F., Trasar-Cepeda, C., Leiros, M., & Seoane, S. (04 de 02 de 2005). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: Experiencias*

- en sistemas silvopastoriles. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392013000100006
- Gobernación del Putumayo. (25 de 10 de 2016). *Cartilla Putumayo*. Obtenido de Cartilla Putumayo: www.putumayo.gov.co/images/documentos/cartillas/
- Gomez et al, M. (2005). *Recuperar y manejo de los suelos acido real en Boyaca*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v16n2/v16n2a15.pdf>
- Gòmez, H. (2002). *Indicadores relacionados con los suelos*. Bogotá: Inside Science.
- Gonzales. (26 de 1 de 2017). *La ganaderia extensiva esta acabando con los bosques en colombia*. Obtenido de El espectador: <http://blogs.elespectador.com/medio-ambiente/mongabay-latam/la-ganaderia-extensiva-esta-acabando-los-bosques-colombia>
- Gonzales, C. O., Iglesias, C. E., & Herrera, S. M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, Vol 18 N° 2 , 57-63.
- Gonzales, J. (26 de 01 de 2017). *La ganadería extensiva está acabando con los bosques en Colombia*. Obtenido de El Espectador: <http://blogs.elespectador.com/medio-ambiente/mongabay-latam/la-ganaderia-extensiva-esta-acabando-los-bosques-colombia>
- Graecen. (1986). *Propiedades de los suelos*. Hamburg: soil sci.
- Gregorich, E., Carter, M., Angers, V., Monreal, M., & Ellert, B. (1994). Alrededor de un mínimo dato establecer el acceso a suelos orgánicos manteniendo calidad suelos de agricultura. En *Can J. ciencia del suelo*. (págs. 367-385).
- Guerrero, R. (1980). La recomendacion de fertilidad, fundamentos y aplicaciones. En *Fertilidad del suelo, diagnostico y control* (págs. 225-227).
- Gutierrez, K. (25 de 05 de 2018). *Densidad aparente y densidad real del suelo - edafologia*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/document/333992351/Densidad-aparente-y-densidad-real-del-suelo-edafologia>
- Hart. (1929). *Deficiencia de potasio en caña de azùcar*. Obtenido de Acta Agronòmica.Universidad Nacional de Colombia: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/17665
- Havlin, J. L., J.D, B., Tisdale, S., & Nelson, W. (1999). Suelos fértiles y fertilizados: Una introducción de nutrientes de magnesio. En *Suelos fértiles y fertilizados* (pág. 499 p.). Prentice Hall.: 6 ed. Upper saddle River Estados Unidos).
- Heredia, E. (S.f). *Dencidad real, aparente y porosidad del suelo* . Obtenido de Academia : http://www.academia.edu/7716432/DENSIDAD_REAL_APARENTE_Y_POROSIDAD_DEL_SUELO
- Hernandez , D. (04 de 02 de 2011). *Influencia de la pendiente y la precipitaciòn en la erosión de taludes desprotegidos*. Obtenido de Universidad del Bio -Bio: http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2011/hernandez_d/doc/hernandez_d.pdf
- Herrero, M. (2003). *“Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado y ecológico”*. TESIS DOCTORAL. Departamento de Recursos Naturales Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).

- Hilder citado por Funes, F. (1975). *Efectos de la quema y el pastoreo en el mantenimiento de los pastizales tropicales*. . Rev. Cubana Cienc. Agric. 9: 395 - 412 p.
- Hillel, D. (1971). *Suelo y agua: principios físicos y procesos*. Obtenido de Prensa académica. Nueva York: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/download/36490/38420>
- Hofstede, R. (30 de 08 de 1997). *Efecto del Uso del Suelo en la Capacidad de Almacenamiento Hídrico en el Páramo de Sumapaz - Colombia*. Obtenido de Conferencia Electrónica “Estrategias para la Conservación y Desarrollo Sostenible de Páramos y: http://www.condesan.org/mtnforum/sites/default/files/publication/files/La_Importancia_Hídrica_del_Páramo_y_Aspectos_de_su_Manejo.pdf
- Huber, A., C, O., & A, E. (1885). “Balance hídrico en tres plantaciones de Pinus radiata y una pradera”. Humedad del suelo y evapotranspiración. En 1. Lee. Universidad austral de Chile facultad de ciencias forestales. Bosque 6.
- ICA. (1992). Fertilización en diversos cultivos. En I. C. AGROPECUARIO, *Manual de asistencia técnica No. 25*. ICA. (pág. 64 p.). Bogotá.: 5ª Edición.
- IGAC. (1990). Estudio general de suelos detallado de los municipio de Santiago, Colón, San Francisco, Sibundoy, Mocoa, Villa Garzón, Puerto Asís, Orito y parte del norte de la Hormiga. En C. I. Agustin.
- Iglesias et al., 2007, J., Hernández et al., 2007, D., & Murgueitio et al., 2009, E. (s.f.). *Cambio climático, afectaciones y oportunidades para la ganadería en Cuba*. Obtenido de Scielo: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942011000200001
- Instituto Colombiano Agropecuario ICA. (1981). *Fertilización en diversos cultivos. Manual de asistencia técnica No 25*. Boyacá: Centro experimental Tibaitata.
- INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO. (05 de 2009). *Informaciones agronomicas*. Obtenido de INSTITUTO DE LA POTASA Y EL FOSFORO: [http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/F9CC2B73823D9E1F06256AD1005E1257/\\$file/Conozca+la+deficiencia+de+manganeso.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/F9CC2B73823D9E1F06256AD1005E1257/$file/Conozca+la+deficiencia+de+manganeso.pdf)
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. (22 de 06 de 2002). *La ganadería extensiva y el problema agrario.El modelo de un reto de desarrollo rural sustentable para Colombia*. Obtenido de Revisitas Universidad de la Salle: <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ca/article/viewFile/350/281>
- INTAGRI . (2001). *La capacidad de intercambio catiónico en el suelo*. Obtenido de INTAGRI: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>
- J. Espinosa. (1994). *Acides y enclado de los suelos. Fertilidad del suelo diagnóstico y control*. Santafé de Bogotá. pag. 123: Sociedad colombiana de la ciencia del suelo.
- Jaramillo , D. (02 de 02 de 2002). *Introducción a la Ciencia del suelo*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2242/1/70060838.2002.pdf>
- Jaramillo. (2002). *Manejo del medio físico del suelo.introduccion a la ciencia del suelo*. Bogota: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.

- Jaramillo, D. (2000). *Manejo del medio físico del suelo*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias.
- Jaramillo, D. (2002). *Manejo del medio físico del suelo. introducción a la ciencia del suelo*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias.
- Jaramillo, D. F., Parra, L., & González, L. (1994). El recurso suelo en Colombia: Distribución y evaluación. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, J. (2001). Ciencia del suelo. Notas de clase, Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería.
- Jaramillo, J. (2002). *Propiedades Físicas de los suelos*. Bogotá. D.F.
- Jimenez. (1993). Evaluación de la fertilidad del suelo. En Jimenez, *Fertilidad de suelos; diagnóstico y control* (págs. 155-186). Bogotá: Sociedad Colombiana de las ciencias de suelo.
- Jimenez. (1993). Fertilidad de suelos; diagnóstico y control. En F. (. In: Silva M., *Evaluación de la fertilidad del suelo*. (págs. p. 155–186.). Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Jorge. (1986). *Funciones de la materia orgánica en el suelo y el efecto de las propiedades del suelo*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X1999001200017
- Kaimowitz, D. (30 de 06 de 1996). *Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución*. Obtenido de Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de la Producción Agropecuaria (CIPAV): <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd15/10/murg1510.htm>
- Karlet et al. (1997). *Calidad del suelo: un concepto, definición y marco para la evaluación*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v29n4/2395-8030-tl-29-04-00369.pdf>
- Kirkby, M., & Morgan, R. (09 de 03 de 1984). *Estudio de los procesos erosivos de una microcuenca*. Obtenido de Universidad Politécnica de Madrid, Tesis doctoral: http://r1.ufrj.br/lmbh/pdf/mono_disset_tese/mono_disset_tese03.pdf
- Kolmans, E., & Vásquez, D. (1996). Una introducción a los principios básicos y su aplicación. En *Manual de agricultura ecológica* (pág. P 221). Managua Nicaragua.: SIMAS.
- Kononova. (1982). *Materia Orgánica en el suelo, sus propiedades, naturaleza y métodos de investigación*. Barcelona: Oiko-Thaus.
- Krauskopf. (1983). *Geoquímica de los micronutrientes*. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/pdf/339/33925550003.pdf>
- Krull et al. (2004). *Física y manejo de suelos tropicales*. Campinas.
- Kufner et al. (1989). *Impacto de la Ganadería en Colombia*. Obtenido de Universidad de la Salle: <http://www.editorial.unca.edu.ar/Publicacione%20on%20line/Ecologia/imagenes/pdf/008-Impacto-explotacion-ganadera.pdf>
- Lal et al. (1998). *El potencial de las tierras de cultivo para capturar carbono y mitigar el efecto invernadero*. Obtenido de Ana Arbor Press: <http://www.edafologia.net/revista/tomo11b/articulo149.pdf>

- Lal, R. (1994). *Métodos y directrices para el sostenimiento de la gestión del suelo y el agua en los trópicos*. Ohio: Universidad estatal de Ohio.
- LAL, R. (1994). Soil quality and sustainable. En *Advances in Soil Science*. (págs. pp. 17-30.). Florida.: CRC Press. Boca Raton.
- Latam, M., & Rico, G. (26 de 01 de 2017). *La ganadería extensiva está acabando con los bosques en Colombia*. Obtenido de El Espectador: <http://blogs.elespectador.com/medio-ambiente/mongabay-latam/la-ganaderia-extensiva-esta-acabando-los-bosques-colombia>
- Legarda et al. (2002). *Técnicas y aplicación del riego agrícola*. Pasto: Universidad de Nariño.
- León. (1994). *Las propiedades químicas de los suelos y su efecto sobre la disponibilidad de los nutrientes para las plantas*. Valle del Cauca: Sociedad Colombiana de las Ciencias del Suelo.
- Leon, L. A. (1994). *Evaluación de la fertilidad del suelo, Fertilidad del suelo diagnóstico y control*. santafe de Bogotá. pag. 172-174: Sociedad colombiana de la ciencia del suelo.
- Lobo, L., Deyanira, & Pulido, M. M. (2011). Métodos e índices para evaluar estabilidad estructural de los suelos. Universidad central de Venezuela, Facultad de agronomía, instituto de Edafología.
- Lobo, L., & Pulido, M. (2013). *Métodos e índices para evaluar estabilidad estructural de los suelos*. Caracas: Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía.
- López, R. (2002). *Degradación del suelo Causas, procesos*. Centro interamericano de desarrollo e investigación ambiental y territorial Mérida Venezuela.
- Lora. (1994). *Medida de la acidez en los suelos*. Obtenido de Biblioteca digital Universidad Nacional de Colombia: <http://bdigital.unal.edu.co/1735/5/9583367125.5.pdf>
- Louè. (1998). *Microelementos en la agricultura*. Madrid: Ediciones Mundiprensa.
- Lozano, T., & Denis, G. A. (2006). *Sistemas silvopastoriles con uso de biofertilizantes*. Espinal Tolima: PRODUMEDIOS.
- Luters, J., & Salazar, J. (1999). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos a través del componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas: <http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/colfor/article/view/3955>
- Mahecha et al, L. (04 de 02 de 2002). <http://www.scielo.org.co>. Obtenido de <http://www.scielo.org.co>: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392013000100006
- Mahecha, L. (2002). *Efectos ambientales y socio-económicos del sistema de producción ganadero con enfoque ambientalmente sostenible y el sistema tradicional, implementados en las fincas Escocia y Alejandría, respectivamente en el municipio de Montería, departamento de Córdoba*. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/2505>
- Mardones. (2007). *Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos*. Obtenido de Universidad del BIO-BIO: http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2011/hernandez_d/doc/hernandez_d.pdf

- Marín, J. (1986). "Variabilidad espacial del Nitrógeno disponible en los andisoles de la zona cafetera". En *Tesis: Ingeniero Agrónomo*. (pág. Pág 90). Palmira (Colombia): Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Marschner, H. (1997). *Minera l Nutrition o f Higher Plants*. . Londres: 2 e éd. Royaume-Uni , Academic Press.
- Martínez et al. (2008). *Carbono orgànico y propiedades del suelo*. Obtenido de Desertificacion.gob: http://www.desertificacion.gob.ar/wp-content/uploads/2014/06/IV.2a_COS_suelo.pdf
- Maurya, P., & Lal, R. (1979). *Efectos de la densidad aparente y la humedad del suelo en elongacion radical de algunos cultivos tropicales*. Obtenido de Propiedades físicas del suelo: <file:///C:/Users/pc/Downloads/Dialnet-HumedadCompactanteYSusImplicacionesAgricolasEnDosS-3394198.pdf>
- McDowell, R., & Sharpley, A. (2003). *Cinética de solubilidad y liberación de fósforo como una función de la concentración P de la prueba del suelo*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672008000100002
- Mendoca , E., & Rowell, D. (1994). *Dinàmica del aluminio de un suelo arcilloso*. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/pdf/302/30235403.pdf>
- Menzi, G. y. (20-24 de septiembre de 2005). Perdidas de nitrogeno de sistemas intensivos de ganaderia en sudeste de asia; una revision de las tendencias actuales y las opciones de mitigacion. *Acts de la 2º conferencia internacional sobre gases de efecto invernadero y agricultura animal*.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS. (1993). *Sistema General Ambiental SINA*. Obtenido de Instituto Alexander Von Humboldt: <http://www.humboldt.org.co/images/documentos/pdf/Normativo/1993-12-22-ley-99-crea-el-sina-y-mma.pdf>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible MADS. (2014). *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente* . Obtenido de Decreto 2811 de 1974: <http://biblovirtual.minambiente.gov.co:3000/DOCS/MEMORIA/MADS-0026/MADS-0026.pdf>
- Moncayo, A. y. (2005). *Efecto del laboreo reducido y fertilizacion organico-mineral sobre las características de un andisol bajo pradera de kikuyo(pennisetum clandestinum, hoechst)*.
- Montecinos, C. (2014). *Manejo biològico del fòsforo en el suelo*. Obtenido de Reviastas clades: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/5248/el%20fosforo%20el%20elemento.pdf?sequence=1>
- Montenegro, H. (2003). "Propiedades físicas de los suelos en relación con la fertilidad". En *Manejo integral de la fertilidad del suelo* (págs. Pág 3-28.). Bogota: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Montoya et al, A. (2003). *Boro, un nutriente que crea incertidumbre*. Obtenido de Experiencias de fertilización en la región pampeana: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/1736/Rubio%20-%20Vanzetti%20>

- %20Disponibilidad%20de%20boro%20en%20un%20suelo%20de%20Justiniano%20Posse%20y..%20%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Morgan , R. (1997). *Efecto del gradiente y el aspecto de la pendiente en la erosión hídrica de un suelo seco interior de la zona central de Chile*. Obtenido de Universidad de Chile: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2005/lopez_af/sources/lopez_af.pdf
- Moro, E., Venialgo, C., Gutierrez, N., Drgan, D., & Oleszczuk, J. (2001). *Efecto de las labranzas y rotaciones sobre la degradación física de suelos en diferentes sistemas productivos de la provincia del Ch.*
- Muller, H. (1995). *Guía del productor agropecuario*. Editorial Hemisferio Sur. Obtenido de UCO: http://www.uco.es/organiza/departamentos/prodanimal/economia/aula/img/pictorex/02_17_18_ariel.pdf
- Murgueitio, E. (1999). *Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución*. Obtenido de Fundación Centro para la Investigación en Sistemas Sostenibles de la Producción Agropecuaria (CIPAV): <http://www.lrrd.cipav.org.co/lrrd15/10/murg1510.htm>
- Murgueitio et al., E. (18 de 02 de 2011). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v16n1/v16n1a06.pdf>
- Naderman, G., & Vieira, M. (1992). Labranza de conservación, manual de sistemas de labranza para América Latina. *Boletín de suelos de la FAO N° 66*, 31-56.
- Nair et al., P. (04 de 02 de 1995). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles*. Obtenido de scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392013000100006
- Navarrete , A., Vela, G., López, J., & Rodríguez, M. (04 de 02 de 2011). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392013000100006
- Navarro, A., Figueroa, B., Sanguerman, J., & Dora, M. y. (2012). Propiedades físicas y químicas del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento de tres cultivos. *Ciencias Agrícolas*, 90-97.
- Norton, B. (1998). *Producción y manejo de pasturas*. Obtenido de sistemas de pastoreo: http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/52-art_pastoreo2_completo.pdf
- Núñez, J. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. Costa Rica: Universidad Estatal a distancia.
- Núñez, J. (04 de 02 de 2001). *Manejo y Conservación de suelos*. Obtenido de Google Books: https://books.google.com.co/books?id=-l47PHoTfjoC&pg=PA113&lpg=PA113&dq=erosion+en+terracetas&source=bl&ots=LJmgT5G9Vo&sig=4tXiwuS0uN6z54gqZm8jvoQL_48&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwifPI2MjVAhUHLmMKHZxMCbUQ6AEITTAJ#v=onepage&q=erosion%20en%20terracetas&f=fal

- Ordóñez. (2007). *Efecto del sistema guachado (wachay) y uso del suelo sobre algunas propiedades físicas en la microcuenca del río Bobo, departamento de Nariño*. Palmira: Tesis presentada para optar al grado de magister Universidad Nacional de Colombia.
- Ordóñez, E. (2007). "Efecto del sistema guachado (wachay) y uso del suelo sobre algunas propiedades físicas en la microcuenca del río Bobo, departamento de Nariño" Universidad nacional de Colombia sede Palmira Tesis presentada para optar al grado de magister.
- Organizacion de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion FAO. (2018). *Propiedades físicas del suelo*. Obtenido de Organizacion de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentacion FAO: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (2000). *Los principales factores ambientales y de suelos que influyen sobre la productividad y el manejo*. Obtenido de Manual on integrated soil management and conservation practices: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/FAO-2000.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (2009). *Efectos ambientales y socioeconómicos del sistema de producción ganadera con enfoque ambientalmente sostenible y el sistema tradicional implementados en las fincas Escocia y Alejandría respectivamente en el municipio de Montería en Córdoba*. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana: <http://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/2505>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (02 de 02 de 2009). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s.pdf>
- Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO. (2009). *Guía para la descripción de los suelos*. Roma: FAO.
- Ouèdraogo, & Zombrè. (2001). *Uso de compost para mejorar las propiedades del suelo y la productividad de los cultivos bajo un sistema agrícola de bajos insumos en África húmeda*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792011000300325#B22
- Palmaven. (1986). Analisis de suelo y su interpretacion. *Palmaven*, 58.
- Parga, J., & Nolberto, T. (s.f). *Manejo del pastoreo con vacas lecheras en praderas permanentes*. Obtenido de Biblioteca virtual: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR33838.pdf>
- Parra, J. (2003). *guia de muestreo*. maracaibo: luz.
- Pereira et al., C. (2011). *Sistemas de producción animal 1*. Obtenido de Universidad de Caldas-Colombia: https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4782/sistemas_produccion_animal_i.pdf
- Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Alta del rio Putumayo POMCA. (18 de 02 de 2010). *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Alta del río Putumayo*. Obtenido de Corpoamazonia:

- http://www.corpoamazonia.gov.co/images/Publicaciones/11%202010_Pomca_cuenca_alta_rio_Putumayo/7%202010_POMCA_Cuenca_alta_Rio_Putumayo.pdf
- Plaster, E. (2000). *La ciencia del suelo y su manejo*. Madrid: Editorial Paraninfo.
- PNUMA. (2004). *Degradación de la tierra en las tierras secas(LADA)*. Nairobi: solicitud de subvención del FMAM, programa de naciones unidas para el medio ambiente.
- Prado, L., & Veiga, M. (s.f). *Erosión y pérdida de fertilidad del Suelo*. Obtenido de Organización de las Naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm>
- Prieto, C. (04 de 02 de 2004). *Estimación de la erosión hídrica a través de modelación mediante un SIG en la zona cañera de la vertiente del Pacífico de Guatemala*. Obtenido de Universidad Rafael Landívar: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/17/Nelson-Juan.pdf>
- Primavesi, A. (1984). *Manejo ecológico del suelo*. Buenos Aires, Argentina : 6a. ed., Ateneo.
- Quintero, M. (2003). Importancia de la materia orgánica en el suelo y su relación con las propiedades físicas y químicas del mismo. Editorial Andrea Brechet.
- Quiroga, D., & Funaro, A. (2004). Materia orgánica. En *Factores que condicionan su utilización como indicador de calidad en Molisoles, de las Regiones Semiárida y Subhúmeda Pampeana*. (pág. Actas Pp: 476.). XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Ramírez, M., & Pinzón, C. (17 de 04 de 1987). *Introducción a la Colombia Amerindia*. Obtenido de Biblioteca Luis Angel Arango: <http://www.banrepcultural.org/blaavirtual/antropologia/amerindi/putucaqu.htm>
- Reid, R. P. (2009). ¿es posible mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero en los ecosistemas pastorales de los tropicos? *Ambiente, desarrollo y sostenibilidad*, 91-109.
- Revista semana. (6 de 20 de 2017). *¿Por qué es tan grave que la ganadería en Colombia use más tierra de la que debería?* Obtenido de Revista Semana: <https://www.semana.com/nacion/articulo/ganaderia-en-colombia-utiliza-mas-tierra-de-la-que-deberia-segun-igac/529191>
- Reyes. (2010). Caracterización del estado actual de los suelos del departamento de leon, en base a sus características físicas y sistemas de producción. Colombia.
- Rincón, A. (11 de 2006). *Factores de degradación y tecnología de recuperación de praderas en los Llanos Orientales Colombianos*. Obtenido de Corpoica: https://books.google.com.co/books?id=HsGPPwb9p8UC&pg=PA27&lpg=PA27&dq=densidad+aparente+en+los+primeros+10+cm&source=bl&ots=3UocWye31l&sig=86TrGwAWxzMZPNr29gL2D1v6Byw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjU_c6N7MXbAhWktVkkHY-JD6YQ6AEIPDAC#v=onepage&q=densidad%20aparente
- Rivera et al., F. (04 de 02 de 2005). *Estimación de la erosión hídrica a través de modelación mediante un SIG en la zona cañera de la vertiente del Pacífico de Guatemala*. Obtenido de Universidad Rafael de Landívar: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesiseortiz/2015/06/17/Nelson-Juan.pdf>.
- Rivera, P. (1998). *Control de Cárcavas Remontantes en Zonas de Ladera Mediante Tratamientos Biológicos*. Chinchiná (Colombia): Cenicafe,. 8 p. (Avances Técnicos CENICAFE No 256).

- Rivero, C., Padrino, M., & Trinca, G. (2001). Efecto de la incorporación de estiércol de bovino y roca fosforica sobre la disponibilidad de fosfor en el suelo. *Agronomia*, 143-153.
- Rodríguez. (2006). Indicadores de sostenibilidad en el sistema suelo-planta-animal en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 239-242.
- Rosell. (1999). *Materia orgànica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos*. Obtenido de Scielo: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100006&script=sci_arttext
- Rosell, R. (04 de 02 de 1999). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006
- Rubio, A. (2010). *La densidad aparente en los suelos forestales del parque natural los Alcornocales. Tesis para optar al título de Ingeniero Técnico Agrícola, Especialidad en explotaiones agropecuarias*. Sevilla España.
- Rubio, A. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del parque Natural Los Alcornocales* . Obtenido de Proyecto fin de carrera: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/57951/1/La%20densidad%20aparente%20en%20suelos%20forestales%20.pdf>
- Rubio, A. M. (2010). “La densidad aparente en los suelos forestales del parque natural los Alcornocales” . En *Tesis para optar al título de Ingeniero Técnico Agrícola, especialidad en explotaciones agropecuarias*. (pág. 229 p). Escuela universitaria de ingeniería técnica agrícolas.
- Rubio, G., & Lavado, R. (2009). Efectos de alternativas de manejo pastoril sobre la densidad aparente. Departamento de suelos. Facultad de agronomía.
- Ruiz, F., & JZ-Janica. (04 de 2012). *Efectos ambientales y socio-económicos del sistema de producción ganadero con enfoque ambientalmente sostenible y el sistema tradicional, implementados en las fincas Escocia y Alejandría, respectivamente en el municipio de Montería, departamento de Córdoba*. Obtenido de Pontificia Univercidad Javeriana: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/2505/RuizSoleraFlorAngela2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruiz, M. e., & Utset, I. (1995). Curvas tension humedad III. Comparacion de algunos modelos analiticos de algunos suelos. *Ciencias Tecnicas de la agricultura*, 77-79.
- Sadeghian, Rivera, & Gómez. (04 de 02 de s.f). *Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los Andes de Colombia*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agrofor1/Siavosh6.htm>
- Salamanca Sanabria, R. (1984). *Suelos y fertilizantes*. Bogotá:: Universidad Santo Tomás, Pag.46, 47, 141.
- Salamanca, I. (1981). Fertilización en diversos cultivos. Boyacá: Centro experimental Tibaitata: Manual de asistencia técnica No 25. 4ª edición.

- Sanabria, H. (06 de 11 de 2008). *El calcio: gran influencia en el aprovechamiento de otros nutrientes*. Obtenido de Hortalizas: <http://www.hortalizas.com/miscelaneos/el-calcio-gran-influencia-en-el-aprovechamiento-de-otros-nutrientes/>
- Sánchez, A. (1961). *Producción pecuarias (explotaciones ganaderas)*. Obtenido de Imprenta Moderna:
http://www.uco.es/zootecniaygestion/img/pictorex/19_17_41_Yenny_Torres.pdf
- sandoval-estrada, stolpe, I., Zagal, V., & maria, c. (2008). Aporte de Carbono organico en la labranza cero y su impacto en la estructura de un andisol. *Agrociencias*, 57-60.
- Scalone, A. (s.f). *Propiedades fisico-quimicas de los suelos*. Obtenido de Instituto de Agrimensura: <https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2012/5922/Capitulo10.pdf>
- Schoenholtza, S. (04 de 02 de 2000). *Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: Experiencias en sistemas silvopastoriles*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-07392013000100006
- Sela, G. (s.f). *El azufre en plantas y suelo*. Obtenido de SMART. Fertilizer management: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/sulfur>
- Semarnat. (2009). *Evaluación de la Degradación del Suelo Causada por el Hombre en la República Mexicana, 2001-2002*. Mexico.
- Sevilla et al., E. (02 de 03 de 1999). *Caracterización de los sistemas ganaderos en dos comunidades del municipio de Tuzantla de la región de Tierra caliente, Michoacán*. Obtenido de Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo: <http://www.ucol.mx/revaia/portal/pdf/2008/mayo/4.pdf>
- Shoji et al. (1993). *Volcanic ash soils: Genesis, properties and utilization*. Obtenido de Redalyc: www.redalyc.org/pdf/497/49750209.pdf
- Siavosh, S., Rivera, J., & Gómez, M. (2000). *Impacto de los sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de los suelos en los Andes de Colombia*. Latinoamerica: Agroforesteria para la producción animal en Latinoamerica.
- Sierra, C. (2017). *Una relación intensa: el hierro, el suelo y las plantas*. Obtenido de Campo noticias: <http://www.elmercurio.com/Campo/Noticias/Analisis/2016/02/02/Una-relacion-intensa-El-hierro-el-suelo-y-las-plantas.aspx>
- Silva-Lora, R. (1994). *Factores que afectan la disponibilidad de nutrientes para las plantas*. Bogotá: 2a edición. Editorial Guadalupe Ltda.
- SINCHI, I. A. (2006). *Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia*. Obtenido de Impacto de la actividad ganadera sobre el suelo en Colombia: <file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/1212-4096-3-PB.pdf>
- Singer, M., & Erwing, S. (04 de 02 de 2000). *La calidad del suelo y sus indicadores*. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=54013210>
- Smetham 1981, M., Voisin 1963, A., Lecomte 1968, A., Carambula, M., & Hodgson 1990, J. (s.f.). *Producción y manejo de pasturas*. Obtenido de sistemas de pastoreo: <http://www.produccion->

- animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pastoreo%20sistemas/52-art_pastoreo2_completo.pdf
- Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. (2003). Manejo integral de la fertilidad del suelo. Comité regional de Cundinamarca y Boyacá: Primera edición, Editorial Guadalupe.
- Soil Quality Institute SQI. (04 de 02 de 1996). *Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso*. Obtenido de Scielo: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942012000200001
- Soriano, S. Y. (2004). Prácticas de edafología y climatología. México D. F.: Alfaomega Grupo Editor.
- Sosa, O., Martín, B., & Zerpa, G. y. (1995). *Acción del pisoteo de la hacienda sobre el suelo y la vegetación: Influencia de la altura del tapiz*. Revista Argentina de Producción Animal 15(1): 252-255.
- Sotilo, J., & Vijil, E. (1978). *Producción animal. Bases Fisiocootécnicas*. Obtenido de ingeba: <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur19/19espej/19espejo.htm>
- Steinfeld, H. P. (2009). La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. *Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO*, <http://www.fao.org/3/a-a0701s.pdf>.
- Stevenson. (1982). *Formas orgánicas de nitrógeno en el suelo*. Obtenido de Sociedad Americana de Agronomía: <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Stolbovoy et al., V. (2007). *Soil Sampling Protocol para certificar los cambios de stock de carbono orgánico en el suelo mineral de Union Europea*. Obtenido de oficina para las publicaciones oficiales de las comunidades europeas.Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v13n1/1900-3803-entra-13-01-00210.pdf>
- Suárez, J. (1980). *Erosión. Aspectos introductorios*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia: http://www.unalmed.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregado/cap%201%20y%202%20libro%20erosion.pdf
- Sustaita, R. F., Ordaz, C. V., Ordaz, S. C., & León, G. F. (2000). *Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola, Agrociencia, Volumen 34. Tensión infiltrometers*. Soil Science Society of America Journal.
- Taboada, M. A. (2007). "Efectos del pisoteo y pastoreo animal sobre suelos de siembra directa" 4° simposio de ganadería en siembra directa" Aapresid. potrero de los funes, San Luis: Catedra de fertilidad y fertilizantes, Fac de agronomía UBA.
- Tan, K., & Dowling, P. (1984). *Efecto de la materia orgánica y cambio de variables*. Obtenido de Scielo: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27912008000100006
- Tapia, C., & Rivera, C. (2010). Determinación de los factores climáticos y edáficos que intervienen en la producción y calidad nutritiva del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoeschst) en condiciones de no intervencionn en el municipio de de Guachucal, departamento de Nariño. En *Trabajo de grado (zootecnista)*. Pasto, Colombia: Universidad de Nariño. Facultad de ciencias Pecuarias, Programa de zootecnia.

- Terán, C. (2002). *Manejo del suelo y el agua en praderas del tropico alto. En renovacion y manejo de praderas degradadas del tropico alto*. Colombia: IZA.
- Terrence, J., Foster, G., & Renard, K. (2002). *Procesos de erosión-sedimentación en cauces y cuencas volumen 1*. Obtenido de Programa Hidrológico Internacional: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216338s.pdf>
- Thompson, L., & Troeh, F. (2002). *Los suelos y su fertilidad*. Reverté S.A.
- Thompson, L. M. (2002). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona. 77-87: Cuarta edición. Editorial Reverté.
- Thompson, L., & Troeh, F. (2002). *Los suelos y su fertilidad*. Editorial Reverté S.A. Cuarta Edición.
- Torres. (2007). Perspecivas de la produccion bovina en el estado trujillo. *Mundo Pecuario*, 14-16.
- Turner, D., & Bull, J. (1970). *Problemas de fertilidad en banano*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652007000200010
- U.N.L.P. (2014). *Estructura y estabilidad estructural del suelo*.
- Unigarro et al. (2009). *Manual de practicas de laboratorio suelos generales*. Pasto: Universitaria-Universidad Nariño.
- Unigarro, A. (2005). *Metodos quimicos para el analisis de suelos*. Nariño.
- Unigarro, A. (2009). *Manual de Laboratorio de suelos Generales*. Nariño: Universidad de Nariño.
- Unigarro, A., & Carreño, M. (2005). *Métodos químicos para el análisis de suelos*. Pasto: Universidad de Nariño.
- Urbano, P. (1992). *Tratado de Fitotecnia General*. Zaragoza: Mundi prensa.
- Valenzuela, I., & Torrente, A. (2013). Física de suelos. En *Ciencia del suelo, Principios básicos, segunda edición* (págs. pp 143 – 207- 153). Bogotá, D.C.: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Valenzuela, V. e., Rodrigue, F., & Carrillo, G. (2013). *Departamento de Fomento de la Producción Animal, Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias*. Universidad de Chile.
- Velez, A. N. (2010). Evaluacion de algunas propiedades fisicas del suelo en diferente usos. *Revista de ciencias agricolas*.
- Vera, & Vega. (1979). *Futuro de la explotacion ovina en España. Problemas perspectivas y posibilidades*. Obtenido de Universidad de Zaragoza : <http://www.ingeba.org/lurralde/lurranet/lur19/19espej/19espejo.htm>
- Vera, R. (2008). *Comparación del impacto ambiental generado por la explotación ganadera y la zootecnia de aves en un predio del municipio de la Tebaida Quindío*. Univer: Monografía para optar al título de especialista en gestión ambiental local.
- Vera, W. (1998). *“Suelos, una visión actualizada del recurso”*. Santiago, Chile.: 2ª edición. Universidad de Chile, Fac. de Ciencias Agrarias y Forestales.
- Vergara, W. (09 de 2010). *La ganadería extensiva y el problema agrario. El reto de un modelo de desarrollo rural sustentable para Colombia*. Obtenido de Universidad de la Salle: <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/ca/article/view/350>
- Verstappen, H., & Van Zuidam, F. (1971). *The ITC system of geomorphologic survey*. . Obtenido de ITC: [\]http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222010000300007](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-48222010000300007)

- Viñeda, P. C. (2005). Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las regiones caribe y valles interandinos. Bogotá, Colombia.
- Viveros, M. (1999). En: Curso sobre diagnóstico – fertilidad e interpretación de análisis de suelos. En *Diagnóstico químico del suelo*. (págs. p: 1-31). Pasto: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.
- Volveràs, B., & Amèzquita, E. (2006). *Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempos de uso en laderas andinas de Nariño- Colombia*. Obtenido de Scielo: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v58n1/v58n1a06.pdf>
- Walczak et al. (2002). *Comparison of correlation models for the estimation of the water retention characteristic of soil*. Obtenido de Redalyc: <http://www.redalyc.org/pdf/932/93215937008.pdf>
- Wallace. (1994). *Los polímeros solubles en agua ayudan a proteger el medio ambiente y a corregir los problemas del suelo*. Obtenido de Comunicaciones en Ciencia de Suelos y Análisis de Plantas: http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Estabilidad_Estructural_del_Suelo.htm
- Williams, J., & Reyes, S. (30 de 02 de 2010). *Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela*. Obtenido de scielo: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612010000100004&lng=es&tlng=es.
- Wolf, B., & Snyder, G. (2003). *Sustainable soils; the place or organic matter in Sustainable soils and their productivity*. Obtenido de New York, Food Products Press: <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc056%2804%29381-397.pdf>
- Yapur, S. (09 de 03 de 2010). *Determinación de la Erosión Hídrica Potencial de los Suelos de la Cuenca Inferior del Río Bermejo, Salta-Jujuy*. Obtenido de Universidad Nacional de Salta: http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-_erosionh_cirb_salta_jujuy.pdf
- Zagal et al. (2002). *La fracción liviana de la materia orgánica de un suelo volcánico bajo distinto manejo agronómico como índice de cambios de la materia orgánica*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082011000100003
- Zamboni, I. R., Ballesteros, M. I., & Zamudio, A. M. (2006). Caracterización de ácidos húmicos y fúlvicos de un mollisol bajo dos coberturas diferentes. *Revista Colombiana de Química*, 35 (2).
- Zuñiga, H. (02 de 03 de 2010). *La pendiente compleja atributo del territorio, útil en el ordenamiento espacial del municipio*. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas: http://comunidad.udistrital.edu.co/hzuniga/files/2012/06/pendiente_compleja.pdf

11. ANEXOS

ANEXO A. Resultados obtenidos en el laboratorio y en campo de los tratamientos a profundidades 1 y 2 Pendiente Alta.

A: Profundidad de muestreo 0 a 15 cm

B: Profundidad de 15 a 30 cm

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	1	1 A	0,63	1,82	65,26	134,76	85,11
		2 A	0,55	2,00	72,48	168,31	92,63
		3 A	0,64	1,82	65,05	134,48	85,45
	Promedio		0,61	1,88	67,60	145,85	87,73
	2	1 A	0,38	1,82	78,92	265,63	101,80
		2 A	0,73	2,00	63,32	101,44	74,42
		3 A	0,65	1,67	60,92	106,17	69,15
	Promedio		0,59	1,83	67,72	157,75	81,79
	3	1 A	0,68	2,00	66,16	98,25	66,49
		2 A	0,84	1,67	49,80	84,71	70,87
		3 A	0,68	1,67	59,40	108,00	73,08
	Promedio		0,73	1,78	58,46	96,98	70,14
Promedio por Tratamiento			0,64	1,83	64,59	133,53	79,89

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	1	1 B	0,59	1,67	64,71	140,00	82,35
		2 B	0,59	2,00	70,26	155,29	92,36
		3 B	0,49	1,82	73,25	194,19	94,46
	Promedio		0,56	1,83	69,41	163,16	89,72
	2	1 B	0,56	1,82	68,93	167,78	94,77
		2 B	0,80	1,82	55,90	75,77	60,75
		3 B	0,57	2,00	71,46	165,52	94,49
	Promedio		0,65	1,88	65,43	136,35	83,34
	3	1 B	0,50	2,00	74,90	273,20	137,14
		2 B	0,80	1,82	55,87	84,70	67,96
		3 B	0,80	1,82	56,09	76,68	61,21
	Promedio		0,70	1,88	62,29	144,86	88,77
Promedio por Tratamiento			0,63	1,86	65,71	148,13	87,28

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	1	1 A	0,61	1,82	66,37	141,44	86,49
		2 A	1,06	2,22	52,52	80,13	84,55
		3 A	0,95	1,82	47,92	66,97	63,41
	Promedio		0,87	1,95	55,60	96,18	78,15
	2	1 A	0,75	1,82	58,95	100,00	74,65
		2 A	0,33	1,67	80,42	353,21	115,27
		3 A	0,31	1,82	82,96	377,78	117,06
	Promedio		0,46	1,77	74,11	277,00	102,33
	3	1 A	0,40	1,82	77,75	243,97	98,70
		2 A	0,44	2,00	77,85	197,04	87,27
		3 A	0,45	1,67	72,97	231,85	104,44
	Promedio		0,43	1,83	76,19	224,29	96,80
Promedio por Tratamiento			0,59	1,85	68,63	199,15	92,43

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	1	1 B	0,54	2,22	70,59	168,62	90,95
		2 B	0,98	2,22	67,04	66,28	64,84
		3 B	0,89	2,22	78,94	66,98	59,77
	Promedio		0,80	2,22	72,19	100,62	71,86
	2	1 B	0,59	2,00	63,77	160,98	94,68
		2 B	0,60	1,82	49,38	137,02	82,12
		3 B	0,38	1,82	71,28	334,53	128,08
	Promedio		0,52	1,88	61,48	210,84	101,63
	3	1 B	0,72	2,00	0,00	109,20	79,12
		2 B	1,12	2,22	73,79	65,24	73,38
		3 B	0,52	1,82	77,28	141,76	74,03
	Promedio		0,79	2,01	50,36	105,40	75,51
Promedio por Tratamiento			0,71	2,04	61,34	138,95	83,00

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica	
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	1	1 A	0,52	2,00	73,8	202,31	106,04	
		2 A	0,38	1,67	77,3	240,56	91,11	
		3 A	0,35	2,50	86,1	288,24	99,98	
	Promedio			0,42	2,06	79,06	243,70	99,04
	2	1 A	0,70	2,22	68,6	102,48	71,60	
		2 A	0,57	1,82	68,4	170,83	98,20	
		3 A	0,65	1,67	60,9	106,17	69,15	
	Promedio			0,64	1,90	65,95	126,49	79,65
	3	1 A	0,83	1,82	54,6	88,03	72,71	
		2 A	0,80	1,82	56,2	98,35	78,41	
		3 A	0,63	1,82	65,3	150,29	94,92	
	Promedio			0,75	1,82	58,66	112,22	82,01
Promedio por Tratamiento			0,60	1,93	67,89	160,81	86,90	

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	1	1 B	0,83	2,50	66,6	97,94	81,77	
		2 B	0,57	2,00	71,3	162,28	93,15	
		3 B	0,77	1,82	57,9	96,01	73,57	
	Promedio			0,73	2,11	65,25	118,74	82,83
	2	1 B	0,60	2,22	73,1	169,85	101,65	
		2 B	0,94	2,22	57,8	101,40	95,09	
		3 B	0,62	2,50	75,3	168,53	104,19	
	Promedio			0,72	2,31	68,71	146,59	100,31
	3	1 B	0,60	2,22	72,8	161,72	97,59	
		2 B	0,60	2,00	70,0	160,58	96,43	
		3 B	0,91	2,22	z	91,73	83,66	
	Promedio			0,71	2,15	71,41	138,01	92,56
Promedio por Tratamiento			0,72	2,19	68,46	134,45	91,90	

ANEXO B. Resultados obtenidos en el laboratorio y en campo de los tratamientos a profundidades 1 y 2 Pendiente Media.

PENDIENTE MEDIA

A: Profundidad de muestreo 0 a 15 cm

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica	
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	1	1 A	0,40	2,00	79,92	257,86	103,58	
		2 A	0,34	1,82	81,17	321,24	109,98	
		3 A	0,52	2,00	74,03	186,19	96,69	
	Promedio			0,42	1,94	78,37	255,09	103,42
	2	1 A	0,40	2,00	80,00	236,84	94,74	
		2 A	0,38	1,82	78,96	255,33	97,68	
		3 A	0,49	1,82	72,99	185,37	91,02	
	Promedio			0,42	1,88	77,32	225,85	94,48
	3	1 A	0,47	2,00	76,45	202,34	95,30	
		2 A	0,69	2,22	68,82	130,00	90,08	
		3 A	0,54	2,00	72,76	187,91	102,39	
	Promedio			0,57	2,07	72,67	173,42	95,93
Promedio por Tratamiento			0,47	1,96	76,12	218,12	97,94	

B: Profundidad de 15 a 30 cm

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	1	1 B	0,54	2,22	75,85	169,03	90,71	
		2 B	0,50	2,00	74,75	188,64	95,26	
		3 B	0,42	2,00	78,83	224,10	94,88	
	Promedio			0,49	2,07	76,48	193,92	93,61
	2	1 B	0,62	1,82	65,91	143,48	88,92	
		2 B	0,61	1,82	66,64	155,02	94,02	
		3 B	0,49	1,82	73,17	200,00	97,55	
	Promedio			0,57	1,82	68,58	166,17	93,50
	3	1 B	0,53	2,00	73,75	178,14	93,54	
		2 B	0,79	2,22	64,30	113,58	90,12	
		3 B	0,51	2,00	74,25	190,12	97,90	
	Promedio			0,61	2,07	70,77	160,61	93,85
Promedio por Tratamiento			0,56	1,99	71,94	173,57	93,65	

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica	
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	1	1 A	0,48	2,00	76,02	209,74	100,59	
		2 A	0,41	1,82	77,56	237,50	96,92	
		3 A	0,37	1,82	79,63	314,41	116,43	
	Promedio			0,42	1,88	77,74	253,88	104,64
	2	1 A	0,33	2,50	86,61	309,93	103,77	
		2 A	0,35	2,50	85,85	376,11	133,03	
		3 A	0,43	2,86	85,11	231,79	98,62	
	Promedio			0,37	2,62	85,86	305,94	111,80
	3	1 A	0,64	2,50	74,36	148,76	95,35	
		2 A	0,50	2,00	75,10	178,19	88,72	
		3 A	0,26	1,05	74,92	386,96	102,14	
	Promedio			0,47	1,85	74,80	237,97	95,40
Promedio por Tratamiento			0,42	2,12	79,46	265,93	103,95	

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	1	1 B	0,80	2,22	63,81	116,51	93,70	
		2 B	0,56	2,22	74,66	160,70	90,50	
		3 B	0,47	2,22	78,86	206,81	97,14	
	Promedio			0,61	2,22	72,44	161,34	93,78
	2	1 B	0,41	2,00	79,34	250,00	103,29	
		2 B	0,86	2,50	65,42	81,83	70,75	
		3 B	0,85	2,86	70,30	107,25	90,99	
	Promedio			0,71	2,45	71,69	146,36	88,34
	3	1 B	1,21	2,22	45,44	67,65	82,03	
		2 B	1,30	2,50	48,12	66,59	86,36	
		3 B	1,07	2,50	57,13	92,46	99,10	
	Promedio			1,19	2,41	50,23	75,57	89,17
Promedio por Tratamiento			0,84	2,36	64,79	127,76	90,43	

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	1	1 A	0,24	2,00	88,2	498,94	117,59
		2 A	0,31	1,67	81,6	313,11	96,07
		3 A	0,32	1,82	82,3	330,51	106,62
	Promedio		0,29	1,83	84,02	380,85	106,76
	2	1 A	0,32	2,00	84,0	338,46	108,26
		2 A	0,32	1,54	79,5	286,51	90,51
		3 A	0,27	1,82	85,0	446,00	121,92
	Promedio		0,30	1,79	82,81	356,99	106,90
	3	1 A	0,40	2,22	81,9	253,19	102,03
		2 A	0,27	1,82	85,2	430,49	115,81
3 A		0,28	2,00	86,1	366,98	101,77	
Promedio		0,32	2,01	84,40	350,22	106,54	
Promedio por Tratamiento			0,30	1,88	83,75	362,69	106,73

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	1	1 B	0,72	2,22	67,5	141,91	102,39
		2 B	0,70	2,22	68,4	130,74	91,85
		3 B	0,81	2,00	59,3	112,75	91,85
	Promedio		0,75	2,15	65,06	128,47	95,37
	2	1 B	0,58	2,22	74,0	155,20	89,73
		2 B	0,31	1,82	83,0	335,40	103,61
		3 B	0,50	2,86	82,4	213,04	107,16
	Promedio		0,46	2,30	79,80	234,55	100,17
	3	1 B	0,74	2,50	70,4	117,29	86,75
		2 B	0,78	2,22	64,7	117,25	92,01
3 B		0,64	2,00	67,8	143,97	92,77	
Promedio		0,72	2,24	67,63	126,17	90,51	
Promedio por Tratamiento			0,64	2,23	70,83	163,06	95,35

ANEXO C. Clases texturales obtenidas en los diferentes tratamientos pendiente alta.

PENDIENTE ALTA

A: Profundidad de muestreo 0 a 15 cm

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	F	Franco	0	0,00
	Ar	Arcilloso	0	0,00
	Far	Franco-Arcilloso	1	11,11
	A	Arenoso	8	88,89
	AF	Areno-Franco	0	0,00
			9	100

B: Profundidad de 15 a 30 cm

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	Far	Franco-Arcilloso	1	11,11
	FL	Franco-Limoso	0	0,00
	A	Arenoso	8	88,89
				0,00
				0,00
			9	100

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	ArL	Arcillo-Limoso	0	0,00
	FAr	Franco-Arcilloso	0	0,00
	ArA	Arcillo-Arenoso	0	0,00
	FL	Franco-Limoso	0	0,00
	A	Arenoso	9	100,00
	F	Franco	0	0,00
			9	100

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	FAr	Franco-Arcilloso	0	0,00
	F	Franco	0	0,00
	ArL	Arcillo-Limoso	0	0,00
	ArA	Arcillo-Arenoso	0	0,00
	Ar	Arenoso	9	100,00
				0,00
			9	100

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	Ar	Arcilloso	0	0,00
	FAr	Franco-Arcilloso	0	0,00
	A	Arenoso	9	100,00
	ArL	Arcillo-Limoso	0	0,00
	F	Franco	0	0,00
	FA	Franco-Arenoso	0	0,00
			9	100

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON	F	Franco	0	0,00
	A	Arenoso	9	100,00
	ArA	Arcillo-Arenoso	0	0,00
	FA	Franco-Arenoso	0	0,00
				0,00
				0,00
			9	100

ANEXO D Clases texturales obtenidas en los diferentes tratamientos pendiente media.

PENDIENTE MEDIA

A: Profundidad de muestreo 0 a 15 cm

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	FA	Franco-Arenoso	0	0,00
	F	Franco	0	0,00
	FL	Franco-Limoso	0	0,00
	A	Arenoso	9	100,00
	AF	Areno-Franco	0	0,00
			9	100

B: Profundidad de 15 a 30 cm

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	FA	Franco-Arenoso	0	0,00
	FL	Franco-Limoso	0	0,00
	A	Arenoso	9	100,00
				0,00
				0,00
			9	100

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	ArL	Arcillo-Limoso	1	11,11
	FAr	Franco-Arcilloso	1	11,11
	ArA	Arcillo-Arenoso	0	0,00
	FL	Franco-Limoso	3	33,33
	A	Arenoso	2	22,22
	F	Franco	2	22,22
			9	100

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	FAr	Franco-Arcilloso	3	33,33
	F	Franco	1	11,11
	ArL	Arcillo-Limoso	2	22,22
	ArA	Arcillo-Arenoso	2	22,22
	Ar	Arcilloso	1	11,11
				0,00
			9	100

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	Ar	Arcilloso	1	11,11
	FAr	Franco-Arcilloso	1	11,11
	A	Arenoso	1	11,11
	ArL	Arcillo-Limoso	1	11,11
	F	Franco	5	55,56
	FA	Franco-Arenoso	0	0,00
			9	100

Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	F	Franco	1	11,11
	FAr	Franco-Arcilloso	5	55,56
	ArA	Arcillo-Arenoso	2	22,22
	FA	Franco-Arenoso	1	11,11
				0,00
				0,00
			9	100

ANEXO E. Resultados obtenidos en el laboratorio y en campo de los tratamientos a profundidades 1 y 2. Pendiente plana.

Profundidad de muestreo 0 a 15

B: Profundidad de 15 a 30 cm

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica	
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	1	1 A	0,65	2,50	73,85	91,17	59,60	
		2 A	0,25	2,50	90,00	282,26	70,57	
		3 A	0,24	2,50	90,41	295,93	70,95	
	Promedio			0,38	2,50	84,75	223,12	67,04
	2	1 A	0,38	2,86	86,64	182,51	69,66	
		2 A	0,29	2,00	85,37	253,59	74,18	
		3 A	0,37	2,50	85,16	187,63	69,60	
	Promedio			0,35	2,45	85,73	207,91	71,15
	3	1 A	0,50	2,50	80,19	126,86	62,84	
		2 A	0,51	2,50	79,66	126,17	64,17	
		3 A	0,65	2,22	70,96	88,96	57,42	
	Promedio			0,55	2,41	76,93	114,00	61,48
Promedio por Tratamiento			0,43	2,45	82,47	181,68	66,55	

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	1	1 B	0,75	2,22	66,45	75,44	56,25	
		2 B	0,49	2,00	75,53	128,75	63,01	
		3 B	0,47	2,22	78,83	132,87	62,50	
	Promedio			0,57	2,15	73,60	112,35	60,58
	2	1 B	0,52	2,50	79,20	126,38	65,70	
		2 B	0,36	2,22	83,67	186,41	67,65	
		3 B	0,42	3,33	87,47	151,74	63,37	
	Promedio			0,43	2,69	83,45	154,84	65,58
	3	1 B	0,82	2,86	71,35	62,56	51,21	
		2 B	0,79	2,86	72,27	70,44	55,81	
		3 B	0,78	2,86	72,79	68,59	53,33	
	Promedio			0,80	2,86	72,14	67,20	53,45
Promedio por Tratamiento			0,60	2,56	76,40	111,46	59,87	

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica	
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	1	1 A	0,19	2,50	92,29	405,88	78,25	
		2 A	0,20	2,00	90,14	373,53	73,69	
		3 A	0,37	2,00	81,48	188,78	69,93	
	Promedio			0,25	2,17	87,97	322,73	73,96
	2	1 A	0,47	2,86	83,49	144,58	68,20	
		2 A	0,45	2,22	79,65	148,87	67,34	
		3 A	0,47	2,22	78,94	139,21	65,16	
	Promedio			0,46	2,43	80,69	144,22	66,90
	3	1 A	0,28	2,22	87,39	264,49	74,14	
		2 A	0,25	2,22	88,93	319,66	78,62	
		3 A	0,42	2,50	83,13	157,75	66,51	
	Promedio			0,32	2,31	86,48	247,30	73,09
Promedio por Tratamiento			0,34	2,31	85,05	238,08	71,31	

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	1	1 B	0,40	2,50	84,15	181,25	71,80	
		2 B	0,65	3,33	80,50	92,56	60,15	
		3 B	0,80	2,86	72,10	66,43	52,96	
	Promedio			0,61	2,90	78,92	113,41	61,64
	2	1 B	0,71	2,50	71,62	83,38	59,16	
		2 B	0,89	2,50	64,34	57,81	51,54	
		3 B	1,34	2,22	39,92	27,71	36,99	
	Promedio			0,98	2,41	58,63	56,30	49,23
	3	1 B	0,42	2,00	78,91	152,86	64,49	
		2 B	0,59	2,86	79,21	105,07	62,40	
		3 B	0,65	2,50	73,90	93,38	60,92	
	Promedio			0,56	2,45	77,34	117,10	62,60
Promedio por Tratamiento			0,72	2,59	71,63	95,60	57,82	

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad	Humedad Gravimétrica	Humedad Volumétrica	
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	1	1 A	0,25	1,82	86,3	298,25	74,12	
		2 A	0,35	2,50	86,0	212,57	74,37	
		3 A	0,49	2,22	77,8	120,16	59,26	
	Promedio			0,36	2,18	83,38	210,32	69,25
	2	1 A	0,30	2,86	89,5	239,04	71,97	
		2 A	0,72	2,22	67,4	87,32	63,20	
		3 A	0,61	2,86	78,7	95,15	57,99	
	Promedio			0,54	2,65	78,52	140,50	64,39
	3	1 A	0,49	2,86	82,9	121,60	59,32	
		2 A	0,34	2,00	83,2	204,44	68,62	
		3 A	0,69	2,22	69,1	91,76	63,02	
	Promedio			0,50	2,36	78,41	139,27	63,65
Promedio por Tratamiento			0,47	2,40	80,10	163,36	65,76	

Tratamiento			Densidad Aparente	Densidad Real	Porosidad (%)	Humedad Gravimétrica (%)	Humedad Volumétrica (%)	
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	1	1 B	0,89	2,00	55,5	51,72	46,07	
		2 B	0,62	2,50	75,3	87,54	54,14	
		3 B	0,68	2,50	72,9	88,70	60,03	
	Promedio			0,73	2,33	67,88	75,99	53,41
	2	1 B	0,88	2,86	69,2	58,13	51,08	
		2 B	0,86	3,33	74,3	64,24	55,05	
		3 B	0,77	2,86	72,9	52,80	40,87	
	Promedio			0,84	3,02	72,15	58,39	49,00
	3	1 B	1,07	2,86	62,4	42,88	46,08	
		2 B	0,70	1,82	61,4	78,72	55,19	
		3 B	0,79	2,22	64,3	69,95	55,56	
	Promedio			0,86	2,30	62,70	63,85	52,28
Promedio por Tratamiento			0,81	2,55	67,58	66,08	51,56	

ANEXO F. Clases texturales obtenidas en los diferentes tratamientos Pendiente plana.

Análisis de Textura Profundidad 0 - 15 cm				
Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	FA	Franco-Arenoso	3	33,33
	F	Franco	2	22,22
	FL	Franco-Limoso	1	11,11
	A	Arenoso	2	22,22
	AF	Areno-Franco	1	11,11
			9	100

Análisis de Textura Profundidad 15 - 30 cm				
Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	FA	Franco-Arenoso	4	44,44
	FL	Franco-Limoso	3	33,33
	A	Arenoso	2	22,22
				0,00
				0,00
			9	100

Análisis de Textura Profundidad 0 - 15 cm				
Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	L	Limoso	1	11,11
	FAr	Franco-Arcilloso	1	11,11
	ArA	Arcillo-Arenoso	2	22,22
	FL	Franco-Limoso	2	22,22
	A	Arenoso	1	11,11
	F	Franco	2	22,22
			9	100

Análisis de Textura Profundidad 15 - 30 cm				
Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S2) SISTEMA GANADERO INTENSIVO	FAr	Franco-Arcilloso	4	44,44
	F	Franco	3	33,33
	FL	Franco-Limoso	1	11,11
	L	Limoso	1	11,11
				0,00
				0,00
			9	100

Análisis de Textura Profundidad 0 - 15 cm				
Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	FL	Franco-Limoso	1	11,11
	FAr	Franco-Arcilloso	3	33,33
	L	Limoso	1	11,11
	ArL	Arcillo-Limoso	2	22,22
	F	Franco	1	11,11
	FA	Franco-Arenoso	1	11,11
			9	100,00

Análisis de Textura Profundidad 15 - 30 cm				
Tratamiento	Textura		Muestras	% muestras
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS CON CERCAS ELÉCTRICAS	FAr	Franco-Arcilloso	3	33,33
	ArL	Arcillo-Limoso	3	33,33
	FA	Franco-Arenoso	3	33,33
				0,00
				0,00
				0,00
			9	100

ANEXO G. Promedios de resistencia a la penetrabilidad en los tratamientos Pendiente plana.

Tratamiento	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(S1) BOSQUE SECUNDARIO	0	0,78	
	10	1,07	133,37
	20	1,26	100,80
	30	1,43	73,90
	40	0,91	72,67
PROMEDIOS		1,20	95,18
Tratamiento	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(S2) SISTEMA DE GANADERIA INTENSIVA (CONVENCIONAL)	0	1,33	
	10	0,99	77,21
	20	0,96	76,14
	30	1,13	54,94
	40	1,23	52,18
PROMEDIOS		1,10	65,12
Tratamiento	Profundidad (cm)	Resistencia a la penetración (Mpa)	Humedad gravimétrica (%)
(S3) SISTEMA DE MANEJO DE GANADO EN FRANJAS O CERCADO ELECTRICO	0	1,19	
	10	1,20	139,35
	20	1,05	108,68
	30	0,77	53,17
	40	0,64	49,05
PROMEDIOS		0,82	87,56

ANEXO H. Valores promedios halladas por cada variable evaluadas de las propiedades químicas.

Subtratamiento	pH	Materia orgánica (%)	Fosforo disponible (mg/kg)	Capacidad de intercambio catiónico (CIC) (cmol/kg)	Calcio de cambio (cmol/kg)	Magnesio de cambio (cmol/kg)	Potasio de cambio (cmol/kg)
S1	4,90	18,37	24,21	40,30	3,64	3,64	0,43
S2	4,82	16,13	18,93	27,47	3,31	1,19	0,36
S3	5,06	10,80	36,87	27,30	6,70	1,47	0,53

Subtratamiento	Aluminio de cambio (cmol/kg)	Nitrógeno total (%)	Relación entre bases				
			Ca/Mg	Mg/K	K/Mg	Ca/K	(Ca+Mg)/k Cmol/kg
S1	1,92	0,59	3,88	1,74	0,63	7,51	9,25
S2	1,41	0,54	2,82	3,21	0,39	9,04	12,24
S3	0,70	0,39	4,90	3,09	0,36	15,58	18,67

S1: bosque secundario **S2:** sistema ganadero intensivo **S3:** Sistema ganadero en franjeo