

EVALUACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE NUTRIENTES (NITRATO, CALCIO Y FOSFATOS), ARRASTRE DE SUELO Y EFECTO SOBRE LOS MICROORGANISMOS POR ACCIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN PARCELAS PERMANENTES CON COBERTURA EN PROCESO DE SUCESIÓN NATURAL Y SUELO DESNUDO CON ADICIÓN INICIAL DE CAL.

**EIDY MILENA URRESTI SOLARTE
ÁNGELA PIEDAD ZEMANATE DORADO**

Trabajo de grado como requisito parcial para optar al título de Bióloga

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2008**

EVALUACIÓN DEL DESPLAZAMIENTO DE NUTRIENTES (NITRATO, CALCIO Y FOSFATOS), ARRASTRE DE SUELO Y EFECTO SOBRE LOS MICROORGANISMOS POR ACCIÓN DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL EN PARCELAS PERMANENTES CON COBERTURA EN PROCESO DE SUCESIÓN NATURAL Y SUELO DESNUDO CON ADICIÓN INICIAL DE CAL.

**EIDY MILENA URRESTI SOLARTE
ÁNGELA PIEDAD ZEMANATE DORADO**

**APOLINAR FIGUEROA CASAS. PhD.
Director**

**Mg. EDIER HUMBERTO PÉREZ.
Asesor**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
POPAYÁN
2008**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Apolinar Figueroa Casas. Ph.D
Director.

Hernando Vergara. Mg.
Jurado.

Leonidas Zambrano. Mg.
Jurado.

Fecha de sustentación: 19 de febrero de 2008

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre Horacio Zemanate por ser mi inspiración para seguir adelante.

A toda mi familia por su colaboración, especialmente en los momentos más difíciles que con su esfuerzo fueron la fuente de inspiración para culminar esta etapa de mi vida y continuar con nuevas metas.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por permitirnos culminar con satisfacción esta etapa de nuestras vidas.

A mi familia, mi mamá Angélica, a mis hermanos Enier y Ángela María, a mi sobrina Lina Gabriela y a Héctor por su apoyo y colaboración durante todo el desarrollo del trabajo.

Por el apoyo brindado, a mi familia, mi mamá Piedad, mi papá Sijifredo, mi abuela Evila, mi hermana Zuli y a Fernando.

Apolinar Figueroa Casas, director de la investigación por guiarnos con sus conocimientos en el transcurso del estudio.

Edier Humberto Pérez, por su asesoría durante el desarrollo de la investigación.

Hernando Vergara y Leonidas Zambrano jurados del trabajo por sus correcciones.

Diego Tamayo Herrera por su ayuda durante el trabajo de campo.

A la administradora del Jardín Botánico Álvaro José Negret María Cristina Benítez por el mantenimiento de las parcelas.

Al herbario CAUP de la universidad del Cauca.

Al Grupo de Agroquímica, laboratorio de Suelos, laboratorio de Biología y al Grupo de Estudios Ambientales de la Universidad del Cauca.

A las Residencias Universitarias 11 de Noviembre y todos sus miembros por brindarnos la oportunidad de hacer parte de ellas.

CONTENIDO

| | Pág. |
|--|------|
| RESUMEN | 1 |
| INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1. OBJETIVOS | 4 |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL | 4 |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 4 |
| 2. HIPÓTESIS | 5 |
| 3. MARCO TEÓRICO | 6 |
| 3.1. EROSIÓN | 6 |
| 3.1.1. TIPOS DE EROSIÓN | 6 |
| 3.1.1.1. Erosión Hídrica | 6 |
| 3.1.1.2. Erosión eólica | 6 |
| 3.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO | 6 |
| 3.2.1. Conductividad hidráulica | 6 |
| 3.2.2. Densidad aparente | 7 |
| 3.2.3. Densidad real | 7 |
| 3.2.4. Humedad | 7 |
| 3.2.5. Porosidad | 7 |
| 3.2.6. Porosidad total | 8 |
| 3.2.7. pH | 8 |
| 3.2.7.1. Importancia del pH | 8 |
| 3.2.8. Temperatura | 9 |
| 3.2.9. Textura | 10 |
| 3.2.10. Aluminio intercambiable y acidez del suelo | 10 |
| 3.3. CICLO DEL FÓSFORO | 10 |
| 3.3.1. Absorción del fósforo por la planta | 11 |
| 3.3.2. Factores que influyen en el contenido de fósforo en el suelo | 11 |
| 3.4. CICLO DEL NITRÓGENO | 11 |
| 3.4.1. Fijación del Nitrógeno. | 12 |
| 3.4.2. Amonificación | 12 |
| 3.4.3. Nitrificación | 13 |
| 3.4.4. Desnitrificación. | 13 |
| 3.4.5. Absorción de nitrógeno por las plantas | 13 |
| 3.4.6. Factores que influyen en el contenido de nitrógeno en el suelo. | 13 |
| 3.4.7. Lixiviación de nitrógeno | 13 |
| 3.5. ENCALADO | 14 |
| 3.6. CALCIO | 14 |
| 3.7. SUCESIÓN VEGETAL | 15 |
| 3.8. MICROORGANISMOS DEL SUELO | 15 |
| 4. ANTECEDENTES | 16 |

| | Pág. | |
|----------|---|----|
| 5. | METODOLOGÍA | 20 |
| 5.1. | ÁREA DE ESTUDIO | 20 |
| 5.1.1. | UBICACIÓN GEOGRÁFICA. | 20 |
| 5.1.2. | ASPECTOS BIOFÍSICOS. | 20 |
| 5.1.2.1. | Zona de vida. | 20 |
| 5.1.2.2. | Geología. | 20 |
| 5.1.2.3. | Geomorfología. | 21 |
| 5.1.2.4. | Precipitación. | 21 |
| 5.1.2.5. | Brillo solar. | 21 |
| 5.1.2.6. | Vientos. | 21 |
| 5.1.2.7. | Suelos. | 21 |
| 5.1.2.8. | Temperatura. | 22 |
| 5.1.2.9. | Humedad relativa. | 22 |
| 5.2. | LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO. | 22 |
| 5.3. | DESCRIPCIÓN DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES | 24 |
| 5.3.1 | . Parcelas experimentales. | 24 |
| 5.4. | DISEÑO EXPERIMENTAL | 24 |
| 5.4.1. | Parcelas con suelo desnudo y cobertura en proceso de sucesión vegetal | 24 |
| 5.4.2. | Encalado | 25 |
| 5.5. | MÉTODOS DE MUESTREO | 25 |
| 5.5.1. | Datos Pluviométricos | 25 |
| 5.5.2. | Muestreo de suelo para análisis físico, químico y microbiológico. | 25 |
| 5.5.3. | Muestreo de suelo y agua de escorrentía | 26 |
| 5.5.4. | Muestreo de vegetación en proceso de sucesión natural. | 26 |
| 5.5.5. | Desinfección, traslado y almacenamiento del material muestreado. | 26 |
| 5.6. | MÉTODOS DE LABORATORIO | 26 |
| 5.6.1. | Método de determinación de Nitrato (NO_3^-). | 26 |
| 5.6.2. | Método de determinación de Fosfatos (PO_4^{3-}). | 27 |
| 5.6.3. | Método de determinación de Calcio | 28 |
| 5.6.4. | Método para la determinación de aluminio (Al^{+3}) intercambiable | 28 |
| 5.6.5 | Método para la determinación de Fosfatos (Bray II) | 29 |
| 5.6.6. | Método kjeldhal para determinación del nitrógeno total en el suelo. | 29 |
| 5.6.7. | Microorganismos del suelo | 29 |
| 5.6.8. | Conductividad | 30 |
| 5.6.9. | pH | 30 |
| 5.6.10. | Determinación de la cantidad de sedimentos en los colectores de agua. | 30 |

| | Pág. | |
|-----------|--|----|
| 5.6.11. | ANÁLISIS FÍSICO DE SUELO. | 30 |
| 5.6.11.1. | Densidad aparente | 30 |
| 5.6.11.2. | Densidad real. | 30 |
| 5.6.11.3. | Porosidad total | 30 |
| 5.6.11.4. | Conductividad hidráulica. | 31 |
| 5.6.11.5. | Textura. | 31 |
| 5.6.11.6. | Humedad. | 31 |
| 5.6.11.7. | pH | 31 |
| 6. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 32 |
| 6.1. | ADICIÓN DE CAL | 32 |
| 6.2. | PRECIPITACIÓN | 32 |
| 6.3. | ANÁLISIS DE LA CANTIDAD DE SUELO ARRASTRADO Y VOLÚMENES DE ESCORRENTÍA | 33 |
| 6.3.1. | Diseño con medidas repetidas para suelo arrastrado | 36 |
| 6.3.2. | ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE ESCORRENTÍA | 38 |
| 6.3.2.1. | Diseño con medidas repetidas para escorrentía | 38 |
| 6.3.3. | Regresión lineal suelo arrastrado y escorrentía en el tratamiento con suelo desnudo | 39 |
| 6.3.4. | Regresión lineal suelo arrastrado y escorrentía en el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural | 41 |
| 6.4. | ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA DE ESCORRENTÍA | 42 |
| 6.4.1 | .CONDUCTIVIDAD DEL AGUA DE ESCORRENTÍA | 42 |
| 6.4.1.1. | Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para conductividad del agua de escorrentía. | 43 |
| 6.4.1.2. | Prueba de U de Mann-Whitney | 43 |
| 6.4.1.3. | Prueba de Friedman | 44 |
| 6.4.2. | pH del agua de escorrentía | 44 |
| 6.4.2.1. | Diseño con medidas repetidas para el pH del agua de escorrentía | 45 |
| 6.5. | ANÁLISIS DE NUTRIENTES ARRASTRADOS POR EL AGUA DE ESCORRENTÍA | 46 |
| 6.5.1. | Fosfatos P-PO ₄ ³⁻ en el agua de escorrentía | 46 |
| 6.5.1.1. | Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para fosfatos arrastrados en el agua de escorrentía | 48 |
| 6.5.1.2. | Prueba de U de Mann-Whitney | 48 |
| 6.5.1.3. | Prueba de Friedman | 48 |
| 6.5.2. | Nitrato arrastrado por el agua de escorrentía. | 50 |
| 6.5.2.1. | Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para el nitrato arrastrado en el agua de escorrentía | 51 |
| 6.5.2.2. | Prueba de U de Mann-Whitney | 52 |

| | Pág. | |
|------------|--|----|
| 6.5.2.3. | Prueba de Friedman | 52 |
| 6.5.3. | Calcio arrastrado por el agua de escorrentía | 53 |
| 6.5.3.1. | Diseño con medidas repetidas para calcio arrastrado por el agua de escorrentía | 55 |
| 6.5.4. | Problema del arrastre de nutrientes | 56 |
| 6.6. | ANÁLISIS INICIALES Y FINALES DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS DEL SUELO. | 57 |
| 6.6.1. | TEXTURA | 57 |
| 6.6.2. | DENSIDAD APARENTE | 58 |
| 6.6.3. | DENSIDAD REAL | 60 |
| 6.6.4. | POROSIDAD TOTAL | 61 |
| 6.6.5. | PORCENTAJE DE HUMEDAD | 63 |
| 6.6.5.1. | Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para porcentaje de humedad en el suelo. | 64 |
| 6.6.5.1.1. | Prueba de U de Mann-Whitney | 64 |
| 6.6.5.1.2. | Prueba de Friedman | 65 |
| 6.6.6. | CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA | 65 |
| 6.6.6.1. | Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para conductividad del suelo. | 66 |
| 6.6.6.1.1. | Prueba de U de Mann-Whitney | 66 |
| 6.6.6.1.2. | Prueba de Friedman | 67 |
| 6.6.7. | pH | 68 |
| 6.6.7.1. | Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para pH del suelo al inicio y final del estudio | 68 |
| 6.6.7.1.1. | Prueba de U de Mann-Whitney | 68 |
| 6.6.7.1.2. | Prueba de Friedman | 69 |
| 6.6.8. | Aluminio intercambiable | 70 |
| 6.6.9. | FÓSFORO DEL SUELO | 71 |
| 6.6.10. | NITRÓGENO SUELO | 72 |
| 6.6.11 | DATOS MICROBIOLÓGICOS | 74 |
| 6.6.11.1. | CULTIVOS MICROBIOLÓGICOS AL INICIO DEL ESTUDIO | 75 |
| 6.6.11.2 | CULTIVOS MICROBIOLÓGICOS AL FINAL DEL ESTUDIO | 76 |
| 6.7. | COBERTURA VEGETAL EN PROCESO DE SUCESIÓN NATURAL | 78 |
| 7. | CONCLUSIONES | 83 |
| 8 | RECOMENDACIONES | 86 |
| | BIBLIOGRAFÍA | 87 |
| | ANEXOS: MANEJO DE SUELOS | 93 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Influencia del pH en la disponibilidad de elementos y actividad de microorganismos | 9 |
| Figura 2. Ciclo del fósforo | 10 |
| Figura 3. Ciclo del Nitrógeno | 12 |
| Figura 4. Localización del área de estudio. | 23 |
| Figura 5. Parcela experimental | 24 |
| Figura 6. Sonda Multiparamétrica: YSI 6820 and 6920 Compact Sondas | 27 |
| Figura 7. Spectroquant (Merck Nova). | 27 |
| Figura 8. Análisis de calcio en agua de escorrentía | 28 |
| Figura 9. Análisis fosfatos método Bray II | 29 |
| Figura 10. Cultivo inicial, suelo desnudo, Bacterias en AGAR 10^{-6} | 75 |
| Figura 11. Cultivo inicial, suelo con vegetación, Bacterias en AGAR 10^{-6} | 75 |
| Figura 12. Cultivo inicial, suelo desnudo Bacterias en AGAR 10^{-5} | 75 |
| Figura 13. Cultivo inicial, suelo con vegetación, Bacterias AGAR 10^{-5} | 75 |
| Figura 14. Cultivo inicial, suelo desnudo, Hongos en PDA 10^{-6} | 75 |
| Figura 15. Cultivo inicial, suelo con vegetación, Hongos en PDA 10^{-6} | 75 |
| Figura 16. Cultivo inicial, suelo desnudo, Hongos en PDA 10^{-5} | 75 |
| Figura 17. Cultivo inicial, suelo con vegetación, Hongos en PDA 10^{-5} | 75 |
| Figura. 18. Cultivo inicial, suelo desnudo, Actinomicetos 10^{-3} | 75 |
| Figura 19. Cultivo inicial, suelo con vegetación, Actinomicetos 10^{-3} | 75 |
| Figura 20. Cultivo inicial, suelo desnudo, Actinomicetos 10^{-5} | 75 |
| Figura 21. Cultivo inicial, suelo con vegetación, Actinomicetos 10^{-5} | 75 |
| Figura 22. Cultivo final, suelo desnudo, Bacterias en AGAR 10^{-6} | 76 |
| Figura 23. Cultivo final, suelo con vegetación, Bacterias en AGAR 10^{-6} | 76 |
| Figura 24. Cultivo final, suelo desnudo Bacterias en AGAR 10^{-5} | 76 |
| Figura 25. Cultivo final, suelo con vegetación, Bacterias AGAR 10^{-5} | 76 |
| Figura 26. Cultivo final, suelo desnudo, Hongos en PDA 10^{-6} | 76 |
| Figura 27. Cultivo final, suelo con vegetación, Hongos en PDA 10^{-6} | 76 |
| Figura 28. Cultivo final, suelo desnudo, Hongos en PDA 10^{-5} | 76 |
| Figura 29. Cultivo final, suelo con vegetación, Hongos en PDA 10^{-5} | 76 |
| Figura.30. Cultivo final, suelo desnudo, Actinomicetos 10^{-3} | 76 |
| Figura 31. Cultivo final, suelo con vegetación, Actinomicetos 10^{-3} | 76 |
| Figura 32. Cultivo final, suelo desnudo, Actinomicetos 10^{-5} | 76 |
| Figura 33. Cultivo final, suelo con vegetación, Actinomicetos 10^{-5} | 76 |
| Figura 34. Parcela A al inicio del estudio. | 80 |
| Figura 35. Parcela A al final del estudio. | 80 |
| Figura 36. Parcela B al inicio del estudio. | 81 |
| Figura 37. Parcela B al final del estudio. | 81 |
| Figura 38. Parcela C al inicio del estudio. | 82 |
| Figura 39. Parcela C al final del estudio. | 82 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | Pág. |
|---|------|
| Gráfico 1. Precipitación durante los meses de estudio | 33 |
| Gráfico 2. Suelo arrastrado de acuerdo con la escorrentía en el tratamiento con suelo desnudo. | 34 |
| Gráfico 3. Suelo arrastrado de acuerdo con la escorrentía en el tratamiento con vegetación. | 35 |
| Gráfico 4. Suelo arrastrado durante la época de estudio | 37 |
| Gráfico 5. Escorrentía en los dos tratamientos | 39 |
| Gráfica 6. Regresión lineal del suelo arrastrado versus escorrentía en el tratamiento con suelo desnudo. | 40 |
| Gráfico 7. Regresión lineal del suelo arrastrado versus escorrentía en el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión. | 41 |
| Gráfico 8. Conductividad de agua de escorrentía mensual. | 43 |
| Gráfico 9. pH del agua de escorrentía | 46 |
| Gráfico 10. Arrastre de fosfatos con relación a la precipitación | 47 |
| Gráfico 11. Arrastre de nitrato con relación a la precipitación | 51 |
| Gráfico 12. Arrastre de calcio con relación a la precipitación. | 55 |

LISTA DE TABLAS

| | Pág. | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Precipitación durante los meses de estudio. | 32 |
| Tabla 2. | Agua de escorrentía y suelo arrastrado en cada mes de estudio en el tratamiento con suelo desnudo. | 33 |
| Tabla 3. | Agua de escorrentía y suelo arrastrado en cada mes de estudio en el tratamiento vegetación. | 35 |
| Tabla 4. | Suelo arrastrado durante el estudio de los dos tratamientos suelo desnudo y con vegetación. | 36 |
| Tabla 5. | Diseño con medidas repetidas para suelo arrastrado | 37 |
| Tabla 6. | Volumen de agua de escorrentía | 38 |
| Tabla 7. | Diseño con medidas repetidas para escorrentía. | 38 |
| Tabla 8. | Promedio de conductividad de cada mes de estudio | 42 |
| Tabla 9. | Prueba de U de Mann-Whitney para conductividad del agua de escorrentía. | 43 |
| Tabla 10. | Prueba de Friedman para conductividad del agua de escorrentía. | 44 |
| Tabla 11. | pH del agua de escorrentía. | 45 |
| Tabla 12. | Diseño con medidas repetidas para el pH del agua de escorrentía. | 45 |
| Tabla 13. | Fosfatos arrastrados por el agua de escorrentía | 47 |
| Tabla 14. | Prueba de U de Mann-Whitney para fosfatos arrastrado por el agua de escorrentía. | 48 |
| Tabla 15. | Prueba de Friedman para fosfatos arrastrados por el agua de escorrentía. | 48 |
| Tabla 16. | Nitrato arrastrado por el agua de escorrentía | 50 |
| Tabla 17. | Prueba de U de Mann-Whitney para nitrato arrastrado por el agua de escorrentía. | 52 |
| Tabla 18. | Prueba de Friedman para nitrato arrastrado por el agua de escorrentía. | 52 |
| Tabla 19. | Calcio arrastrado por el agua de escorrentía | 54 |
| Tabla 20. | Diseño con medidas repetidas para calcio arrastrado por el agua de escorrentía. | 55 |
| Tabla 21. | Textura | 57 |
| Tabla 22. | Promedio de densidad aparente a diferentes profundidades. | 59 |
| Tabla 23. | Pruebas de los efectos inter-sujetos. | 59 |
| Tabla 24. | Densidad real | 60 |
| Tabla 25. | Porosidad total | 61 |
| Tabla 26. | Análisis de varianza univariante para porosidad total. | 62 |
| Tabla 27. | Porcentaje de humedad | 63 |

| | Pág. | |
|-----------|---|----|
| Tabla 28 | Prueba de U de Mann-Whitney para porcentaje de humedad del suelo. | 64 |
| Tabla 29. | Prueba de Friedman para porcentaje de humedad del suelo. | 65 |
| Tabla 30. | Conductividad hidráulica | 66 |
| Tabla 31. | Prueba de U de Mann-Whitney para conductividad del suelo. | 66 |
| Tabla 32. | Prueba de Friedman para conductividad del suelo. | 67 |
| Tabla 33. | Clasificación de la conductividad hidráulica | 67 |
| Tabla 34. | pH del suelo. | 68 |
| Tabla 35. | Prueba de U de Mann-Whitney para pH del suelo. | 68 |
| Tabla 36. | Prueba de Friedman para los promedios de pH del suelo. | 69 |
| Tabla 37. | Aluminio intercambiable en el suelo. | 70 |
| Tabla 38. | Concentración de Fósforo en el suelo | 71 |
| Tabla 39. | Concentración de nitrógeno en el suelo. | 73 |
| Tabla 40. | Colonias de microorganismos edáficos. | 74 |
| Tabla 41. | Listado de especies vegetales en proceso de sucesión natural. | 78 |

RESUMEN

Para el manejo y conservación del suelo es importante conocer como funciona frente a una práctica agronómica común como el encalado y como la erosión hídrica interviene en el arrastre de nutrientes y suelo. Para obtener esta información se realizó esta investigación en parcelas permanentes (50m²), unas con suelo desnudo y otras con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, al inicio del estudio se encontraban descubiertas, el estudio duró seis meses que incluyó una época húmeda y otra seca.

Los análisis iniciales de suelo indicaron la presencia de un suelo ácido con un pH de 5,49, con alto contenido de aluminio intercambiable (0,95meq/100g de suelo), fósforo retenido (suelo desnudo: 6,38ppm y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural:7,84ppm), buen porcentaje de nitrógeno (0,69para suelo desnudo y 0,70 para suelo con cobertura vegetal) y con adición de cal agrícola (1,9Kg por parcela) se redujo la acidez (5,5 para suelo desnudo y 5,8 para suelo con vegetación) y la cantidad de aluminio intercambiable (0,21meq/100g para suelo desnudo y 0,24meq/100g para suelo con cobertura vegetal), incremento la disponibilidad de nitrógeno (suelo desnudo: 0,71 y suelo con cobertura vegetal: 0,77) y disminuyó la fijación de fósforo por lo tanto sus valores bajaron (5,9ppm para suelo desnudo y 5,9ppm para suelo con cobertura vegetal).

Durante los seis meses de estudio se presento una precipitación de 981mm, el volumen de agua escorrentía (2179L), el suelo arrastrado (29,45ton/ha/6meses), los nutrientes: fosfatos (0,88mg/L), nitrato (18,58mg/L) y calcio (358,33mg/L) arrastrados fueron mayores en el tratamiento con suelo desnudo que los presentes en el tratamiento con cobertura vegetal 1967L agua de escorrentía, 7,24ton/ha/6meses de suelo, 0,58mg/L de fosfatos, 11,33mg/L de nitrato y 273mg/L de calcio.). Con el incremento de la cobertura vegetal se redujo el arrastre de nutrientes, de suelo y absorción y retención de agua. También se observó que hay una relación directamente proporcional en el tratamiento con suelo desnudo que por cada litro de agua de escorrentía que se genere tiende a arrastrar un promedio de 0,095Kg. de suelo y en el otro tratamiento por cada litro de escorrentía que se produzca tiende a arrastrar un promedio de 0,018Kg. de suelo, esto genera una mayor conductividad y pH en el agua de escorrentía proveniente del suelo desnudo.

Las características físicas del suelo como la textura franco-arenosa, la alta porosidad, la baja densidad aparente, junto con las altas precipitaciones, la labranza inicial y el suelo desnudo incrementaron el arrastre de nutrientes y suelo, a diferencia de la cobertura vegetal que entre más densa protege mejor el suelo.

Las colonias de microorganismos fueron mayores al final del estudio en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal, debido a las condiciones presentes en este medio para su desarrollo.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso de gran importancia tanto a nivel ambiental como económico, pero su fragilidad al deterioro o degradación por el uso agrícola, no es bien conocida. Las actividades antrópicas en especial la agricultura dejan el suelo expuesto a la fuerza del agua, generando una pérdida gradual del material que lo constituye. Los nutrientes, suelo, partículas y material orgánico arrastrados en la escorrentía superficial tienen como destino los ecosistemas acuáticos, provocando su eutrofización.

Los suelos del departamento del Cauca presentan serios problemas de acidez según Bravo et al (2001), generalmente causada por altas concentraciones de aluminio de acuerdo con la Secretaria de Agricultura y Ganadería del Cauca (2006), Fassbender (1987) y Porta (1994). Concentraciones de aluminio superiores a 3meq/100g suelo son tóxicas para las plantas y los microorganismos edáficos, en el suelo este elemento puede precipitar el fósforo impidiendo su absorción, debido a que no se presentan las condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas, también puede causar una erosión continua y progresiva originando una baja productividad. Por medio del encalado es posible reducir la acidez del suelo y permitir que los nutrientes estén disponibles para las plantas.

La erosión generada por escorrentía superficial y las altas concentraciones de aluminio alteran la fertilidad del suelo, por esta razón los agricultores se ven obligados a aplicar grandes y repetidas dosis de fertilizantes ricos en fósforo y nitrógeno, reduciendo así los ingresos económicos y causando procesos de contaminación en las fuentes hídricas. El uso de cal se convierte en una alternativa para aumentar la alcalinidad y permitir la disponibilidad de nutrientes siempre y cuando esta práctica se realice con un previo análisis de suelo, de lo contrario un inadecuado encalado puede causar su deterioro.

Cuando se habla de la fertilidad de suelos, se señala su capacidad para permitir y sustentar la vida. Esta fertilidad no sólo depende de la presencia de nutrientes en el suelo, sino también de su disponibilidad para las plantas, de la capacidad del perfil en el suelo para almacenar y entregar agua, de la existencia de un espacio físico para el crecimiento de los seres vivos y de la ausencia de procesos de destrucción. La fertilidad del suelo tiene, por lo tanto, componentes químicos, físicos y biológicos, por lo que todo manejo adecuado debe considerar mecanismos de optimización de estos tres tipos de componentes

La pérdida de nutrientes y de suelo, por arrastre en la escorrentía superficial se considera un problema ambiental de carácter mundial, que altera el equilibrio de los ecosistemas, siendo necesario contribuir en el conocimiento de los factores naturales y ambientales que inciden en el proceso de erosión hídrica y en especial continuar conociendo sobre este proceso en el suelo de la meseta de Popayán; se realizó este análisis que se llevó a cabo en parcelas permanentes tratadas inicialmente con cal; con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural y en suelo desnudo, en donde se evaluó el arrastre de nitrato, fosfatos, calcio y suelo; se tuvo en cuenta parámetros como pH, conductividad (suelo y agua), textura, humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad total, topografía del lugar y un análisis de la presencia de microorganismos en el suelo.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la escorrentía superficial y de la cobertura vegetal en el arrastre de nitrato, calcio, fosfatos y suelo y su acción sobre la presencia de los microorganismos en parcelas permanentes con suelo desnudo y en proceso de sucesión vegetal, tratadas inicialmente con cal.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el efecto de la cobertura vegetal en proceso de sucesión vegetal en las parcelas permanentes en la retención de agua, suelo y nutrientes (nitratos, calcio y fosfatos).
- Efectuar un seguimiento a la adición de cal a través de la evaluación de la pérdida de nutrientes por escorrentía superficial.
- Determinar el efecto de la erosión hídrica en las propiedades de textura, humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad total, pH, conductividad hidráulica del suelo desnudo y con cobertura vegetal.
- Realizar un análisis de la presencia de los microorganismos del suelo para establecer la acción de la cobertura vegetal y el encalado.

2. HIPÓTESIS

La cobertura vegetal en proceso de sucesión natural disminuye el arrastre de nutrientes y de suelo por efecto de la escorrentía superficial. El encalado en suelos desnudos y con cobertura vegetal, aumenta el pH, promueve la actividad de microorganismos edáficos, incrementando la disponibilidad de fosfatos y nitrato para las plantas, paralelamente, la interacción de estos dos procesos reduce la erosión hídrica mejorando las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos de la Meseta de Popayán.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. EROSIÓN

El suelo se forma al degradarse las rocas por acción de los agentes físicos, químicos y biológicos, este proceso se puede realizar mediante la erosión natural, la cual forma parte de los procesos ecológicos (Smith, 2001), paralelamente a este proceso, existe otro inducido, la erosión acelerada, que es el resultado del abuso de los recursos naturales (Ministerio de Ciencia y Tecnología de Venezuela, 2005). La pérdida del suelo acelerada disminuye su fertilidad porque provoca la reducción de minerales y materia orgánica, desgaste de la capa de suelo, que contribuye a la desertización, las partículas arrastradas que pueden actuar como vehículo de transmisión de contaminación.

3.1.1. TIPOS DE EROSIÓN

3.1.1.1. Erosión Hídrica:

La erosión hídrica se genera cuando las gotas de lluvia que caen sobre un suelo tienen suficiente energía para remover partículas del mismo, dejándolas libres para que puedan ser transportadas por la escorrentía superficial hacia las corrientes de drenaje, predomina en zonas de ladera (Silva, 2003).

3.1.1.2. Erosión eólica:

El viento es otro de los agentes de la erosión. El suelo desprovisto de la cortina protectora que forman los árboles, es víctima de la acción del viento que pule, talla y arrastra las partículas de suelo y de roca.

3.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO

3.2.1. Conductividad hidráulica

La conductividad hidráulica es la velocidad de filtración que se presenta en un medio saturado, dependiendo tanto de las características del suelo como del fluido (Montenegro y Malagon, 1990).

3.2.2. Densidad aparente.

La densidad aparente varía de acuerdo al estado de agregación del suelo, al contenido de agua y la proporción del volumen ocupado por los espacios intersticiales. La colección de la muestra se debe hacer con cuidado de no alterar la estructura natural del suelo (Miliarium, 2004).

La densidad aparente es afectada por la porosidad e influye en la elasticidad, conductividad eléctrica, conductividad térmica, en la capacidad calorífica a volumen constante y en la dureza. Permite evaluar la calidad del suelo, como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo. Cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo, debido a la relación existente entre la densidad aparente y la porosidad total. La densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al afecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos (Paz y Dugo, 2003).

3.2.3. Densidad real

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. Esta es afectada por la estructura del suelo, que es, su flojedad o grado de compactación, así como también por sus características de contracción y expansión. Esto último depende tanto de su contenido de arcilla como de la humedad del suelo (Paz y Dugo, 2003).

3.2.4. Humedad

La humedad de un suelo se refiere al contenido de agua con relación al peso o volumen de la masa de suelo. La humedad gravimétrica se define como la relación la masa del agua y la masa de los sólidos del suelo (Montenegro, 1990).

3.2.5. Porosidad

La porosidad representa la parte de suelo ocupada por aire y vapor de agua de una muestra de suelo, está dada por la relación del volumen total de los poros entre el volumen total de la muestra de suelo (Miliarium, 2004).

3.2.6. Porosidad total

Mediante la diferencia entre el valor de la densidad real y la densidad aparente se obtiene la porosidad total; esta equivale a la suma de la porosidad no capilar más la porosidad capilar; la primera está relacionada con al aireación (intercambio gaseoso) y la segunda con la retención de humedad (Montenegro, 1990).

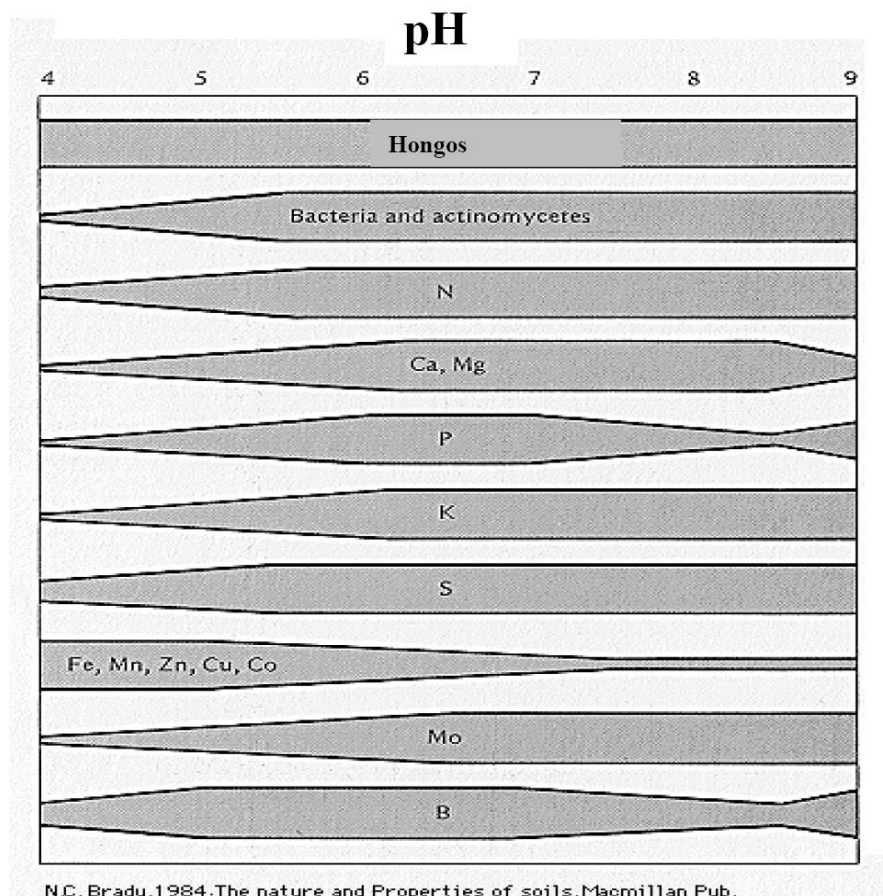
3.2.7. pH

El pH regula y dispone la actividad física y química del suelo, la desaturación va acompañada de una peptización de los coloides, disminuyendo la permeabilidad que es una propiedad física del suelo. El pH regula la actividad biológica del suelo, condiciones de la fertilidad y desarrollo de organismos (Bravo y Giraldo, 1998), (Figura 1).

3.2.7.1. Importancia del pH

- Procesos involucrados en la formación y desarrollo de suelos
- Disponibilidad y absorción de nutrientes
- Actividad de organismos del suelo
- Presencia o ausencia de elementos tóxicos (Al, Mn, Fe)
- Descomposición de la materia orgánica
- La producción vegetal ya que las plantas tienen determinados requerimientos de pH y rango de adaptabilidad
- La CIC y CIA

Figura 1. Influencia del pH en la disponibilidad de elementos y actividad de microorganismos



Fuente: N.C. Brady. 1984.

3.2.8. Temperatura

Temperatura del suelo determina la distribución de las plantas e influye en los procesos bióticos y químicos. Cada planta tiene sus requerimientos especiales. Encima de los 5° C es posible la germinación (Miliarium, 2004).

3.2.9. Textura

La textura depende de la proporción de partículas minerales de diverso tamaño presentes en el suelo. Las partículas minerales se clasifican por tamaño en cuatro grupos: fragmentos rocosos (piedras, grava y cascajo), arena, limo y arcilla.

3.2.10. Aluminio intercambiable y acidez del suelo

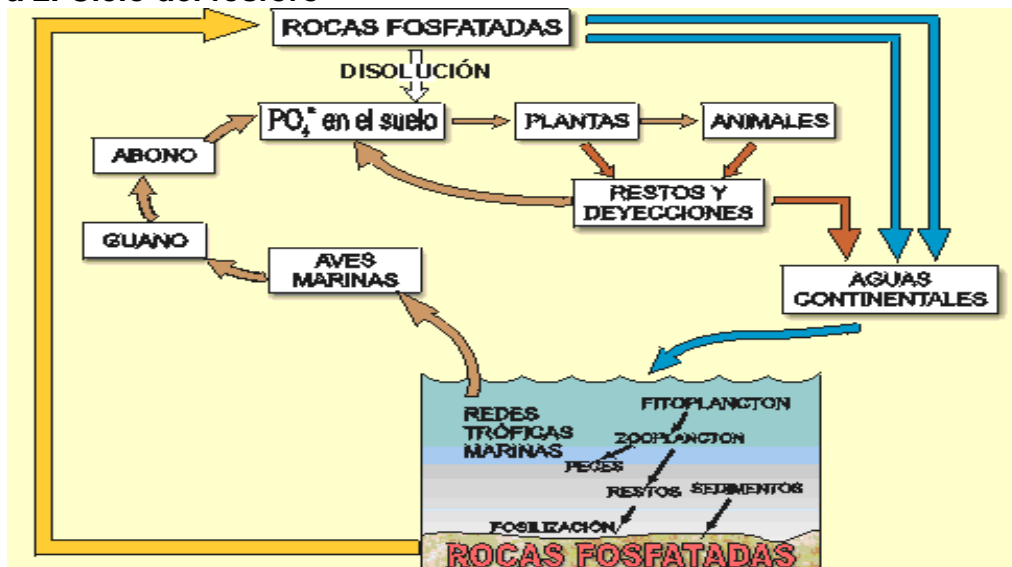
Las arcillas ácidas contienen muy poco o nada de hidrógeno intercambiable, Al intercambiable es el catión dominante asociado con la acidez del suelo (Bornemisza, 1965). La acidez del suelo está asociada con varias características del suelo, bajo nivel de calcio y magnesio intercambiables y bajo porcentaje de saturación de bases; alta proporción de aluminio intercambiable.

3.3. CICLO DEL FÓSFORO

La productividad de los ecosistemas terrestres pueden aumentarse si se aumenta la cantidad de fósforo disponible en el suelo. En el ciclo del fósforo, en la descomposición de la materia orgánica que contiene fósforo este queda disponible para ser absorbido por las plantas, en donde se unirá a compuestos orgánicos. El agua lava el fósforo de las rocas que contienen fosfato y del suelo

El fósforo no forma compuestos volátiles que le permitan pasar de los océanos a la atmósfera y desde allí retornar a tierra firme. Existen dos mecanismos para el reciclaje del fósforo desde el océano hacia los ecosistemas terrestres, mediante las aves marinas y por levantamiento geológico lento de los sedimentos del océano para formar tierra firme. (Figura 2).

Figura 2. Ciclo del fósforo



Fuente: Holding (2005)

3.3.1. Absorción del fósforo por la planta

Las plantas absorben la mayoría del fósforo como el ion ortofosfato primario (H_2PO_4^-), pequeñas cantidades de fósforo como ion ortofosfato secundario (HPO_4^{2-}). El pH del suelo influye en gran parte en la absorción de estas dos formas de fósforo por la planta. Los compuestos de fósforo no son muy solubles y, como consecuencia, la cantidad de fósforo que la planta puede tomar de la solución acuosa del suelo tiende a ser mucho menor de la que necesita.

3.3.2. Factores que influyen en el contenido de fósforo en el suelo

En el suelo las entradas provienen del agregado de fertilizantes fosfatados y de la mineralización de la materia orgánica, mientras que las salidas son por extracción de los productos cultivados; erosión; escurrimiento, lixiviación. A medida que el fósforo disponible en la solución del suelo es absorbido por las plantas, es repuesto a partir de la mineralización del humus, de las fracciones de las arcillas y en forma mucho más lenta, desde la mineralogía primaria (INTA,2006).

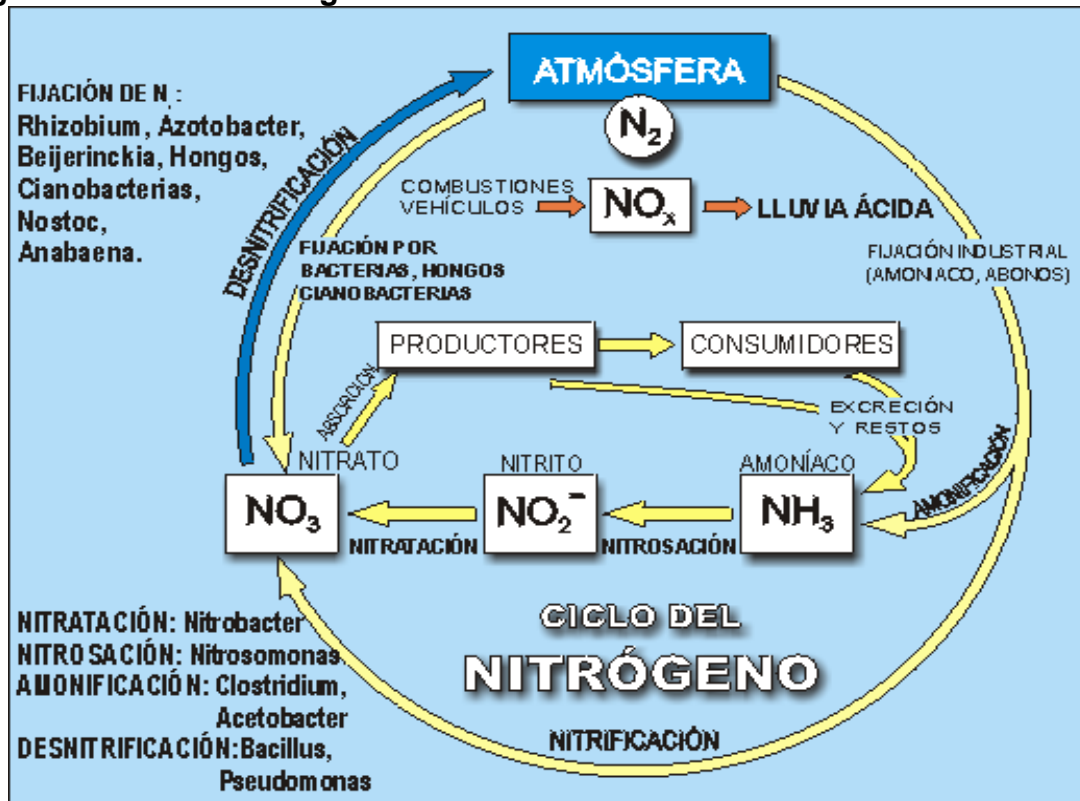
La carencia de fósforo depende del tipo y del tamaño de las partículas minerales, de la presencia de elementos como el aluminio, el hierro y el calcio, de la acidez del suelo y de la materia orgánica. El fósforo orgánico del suelo puede asociarse a la materia orgánica, la cual no puede ser directamente utilizada por las plantas y tiene que ser descompuesta por los microorganismos (bacterias y hongos) del suelo para que se liberen iones de fosfato inorgánico (INFOAGRO, 2006).

El P tiene una movilidad muy baja en la naturaleza, el depósito de fósforo con el agua de lluvia es muy pequeño (menor que 1 Kg/ha.año) debido a la estabilidad de este elemento; las tasas de transferencia con los residuos vegetales oscilan entre 2 y 14 Kg/ha.año, la tasa de absorción por los vegetales es muy baja (4 a 16 Kg/ha.año), las reservas del suelo son mucho mayores que la de la vegetación, es por eso que ecosistemas tropicales de América Latina son muy frágiles. Las formas de fósforo asociadas con la formación de fosfatos de calcio, aluminio, hierro en suelos tropicales ácidos predominan (Fassbender, 1987).

3.4. CICLO DEL NITRÓGENO

Los seres vivos requieren de nitrógeno para la síntesis de proteínas y de otras moléculas orgánicas esenciales. Los organismos no pueden utilizar nitrógeno en forma elemental, es decir: como gas N_2 . Para que las plantas puedan sintetizar proteína tienen que obtener el nitrógeno en forma fija, es decir: incorporado en compuestos. La forma más utilizada es iones nitrato y amonio (Harrison, 2003). (Figura 3).

Figura 3. Ciclo del Nitrógeno.



Fuente: Holding (2005).

3.4.1. Fijación del Nitrógeno.

La fijación del nitrógeno es un proceso en el cual el N_2 atmosférico se convierte en amonio. Éste es esencial porque es la única manera en la que los organismos pueden obtener nitrógeno directamente de la atmósfera. En el curso del último siglo, los humanos se han convertido en fuentes fijadoras de nitrógeno, quemando combustible fósiles, usando fertilizantes nitrogenados sintéticos y cultivando legumbres (Harrison, 2003).

3.4.2. Amonificación

Gran parte del nitrógeno del suelo proviene de las descomposiciones de la materia orgánica. Los organismos como bacterias y hongos, rompen los aminoácidos de la materia orgánica muerta para obtener energía, liberando los grupos amino en forma de amoníaco (NH_3), o amonio (NH_4^+). Al realizarse la digestión enzimática, el nitrógeno puede seguir dos direcciones posibles, incorporarse en las estructuras celulares de los microorganismos del suelo o ser transformado en productos simples que aparecen casi siempre en forma amónica.

3.4.3. Nitrificación.

El amoníaco puede ser absorbido directamente por las plantas. Sin embargo, la mayor parte del amoníaco producido por descomposición se convierte en nitratos cuando las bacterias del género nitrosomonas oxidan el NH_3 y lo convierten en nitritos (NO_2^-). Los nitritos son luego oxidados y se convierten en nitratos (NO_3^-) mediante bacterias del género Nitrobacter. Estos dos grupos de bacterias quimioautotróficas se denominan bacterias nitrificantes. A través de sus actividades el nitrógeno es puesto a disposición de las raíces de las plantas (Holding, 2005)

3.4.4. Desnitrificación.

La desnitrificación, reduce los nitratos a nitrógeno molecular (N_2), el cual se incorpora a la atmósfera. Las bacterias utilizan los nitratos para sustituir al oxígeno como aceptor final de los electrones que se desprenden durante la respiración; al hacerlo así, las bacterias cierran el ciclo del nitrógeno (Holding, 2005).

3.4.5. Absorción de nitrógeno por las plantas

El nitrógeno es absorbido por las plantas principalmente bajo dos formas como nitrato (NO_3^-) y como amonio (NH_4^+) (Faramarz, 1992). En las plantas el nitrógeno favorece su crecimiento, la coloración verde, la robustez, mejorando su calidad, el aumento en la proliferación de hojas y brotes

3.4.6. Factores que influyen en el contenido de nitrógeno en el suelo.

La mineralización del N orgánico comprende los procesos de amonificación y nitrificación. Los nitratos son solubles y se lixivian fácilmente, y pueden conducir a la contaminación de aguas y acidificación del suelo; también pueden perderse por desnitrificación. En el caso del amonio, el riesgo de pérdida por lixiviación es menor porque es retenido en el complejo de intercambio catiónico del suelo y fijado en algunas arcillas, si bien su volatilización puede ser importante a medida que aumentan el pH y la temperatura. Por otro lado, las pérdidas de N pueden compensarse a través de la inmovilización en biomasa microbiana y por la absorción de las plantas (Mazzarino y Gobbi, 2000).

3.4.7. Lixiviación de nitrógeno

La lixiviación ocurre en forma de NO_3^- y NH_4^+ , los cuales se presentan en la solución del suelo, la que, a su vez, percola por gravedad pasando al agua freática. Es necesario conocer la cantidad de agua del suelo que es lixiviada y, por otro lado, es imprescindible obtener muestras de agua para su análisis químico. En suelos con bosques naturales se estima una lixiviación de 5 a 20Kg./ha.año. Las pérdidas por lixiviación aumentan generalmente con la irrigación y la aplicación de fertilizantes, llegando a alcanzar magnitudes de hasta 80Kg./ha.año (Fassbender,1987).

3.5. ENCALADO

El encalado consiste en incorporar al suelo Carbonato cálcico, fuente de Ca^{++} y Mg^{++} para neutralizar la acidez del mismo, permitiendo el desarrollo normal de los cultivos y reducir el contenido del aluminio y manganeso tóxico. El encalado provoca la substitución del Al^{3+} intercambiable por Ca^{3+} (Lezcano, 2004). La calidad de la cal está determinada por tres factores principales: contenido de CaCO_3 equivalente, contenido de agua y su finura. Pinochet et al (2005). La incorporación debe realizarse antes del establecimiento del cultivo.

El efecto del encalado varía según el clima, el tipo de suelo, dependiendo de las posibilidades de lavado o lixiviación, al cabo de un tiempo su efecto se va perdiendo; se estima que entre 3 y 4 años se ha reducido en un 50% al menos del efecto, por lo tanto es recomendable hacer un análisis del suelo para diagnosticar la oportunidad de hacer un encalado de mantención, con ello se logra alcanzar el pH deseado; se debe tener en cuenta que un encalado excesivo permite al inicio una buena disponibilidad de nutrientes y eleva los rendimientos, pero a la vez va empobreciendo y deteriorando el suelo (Suárez, 2000).

En el trópico se encuentran suelos ricos en aluminio y en hierro, muchas veces no en formas tóxicas para las plantas, pero que retienen el fósforo, lo que tiene como efecto una reducción en la fertilidad. Con la inadecuada práctica del encalado, sin realizar un análisis previo del suelo, se puede corregir el pH y sacar el aluminio de su actividad en el suelo, el resultado es que los suelos se endurecen y quedan compactados (Primavesi, 2001).

El uso apropiado de la cal agrícola protege el ambiente, incrementa la eficiencia de los nutrientes, aumenta las utilidades del cultivo, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, la fijación simbiótica del Nitrógeno en las leguminosas, reduce la acidez y la toxicidad de algunos elementos minerales.

El encalado tiene una influencia múltiple sobre la dinámica del fósforo en el suelo, su efecto se puede deber: a la acción de la mineralización de fosfatos orgánicos; a la hidrolización de fosfatos férricos y aluminicos para amentar la concentración de H_2PO_4^- en la solución del suelo; y a la disminución de la capacidad de fijación de los fertilizantes (Fassbender, 1987).

3.6. CALCIO

Además de disminuir la acidez de la tierra, en el encalado, el calcio se utiliza para enmiendas, para mejorar la estructura del suelo, es un importante nutriente. El calcio es absorbido por las plantas en su forma catiónica Ca^{2+} y es parte

constituyente de las sales en la solución del suelo, procedente de las rocas originarias. El calcio contribuye con la absorción de los elementos, la regulación de la presión osmótica, la permeabilidad de las membranas celulares, el crecimiento de los meristemos, la absorción de nitratos, y la maduración de frutos. La presencia de calcio disminuye por retirar los restos vegetales del terreno, cuando es arrastrado por el agua de la lluvia o de riego, o cuando queda inmovilizado en la tierra (Gutiérrez, 2001). El rango de concentración en las plantas es de 0.2 - 1. El Ca en la planta, proporciona rigidez, aumenta la utilización de NO₃⁻, fomenta el desarrollo de las raíces, aumenta la resistencia a enfermedades y plagas, favorece el cuaje de flores, impulsa la producción de semillas y ayuda a la fijación simbiótica del N.

3.7. SUCESIÓN VEGETAL

La sucesión vegetal consiste en la secuencia de reemplazo de comunidades de plantas, en un proceso dinámico que involucra la convergencia de las comunidades hacia un estado de equilibrio, cuyas características son controladas por el clima regional.

3.8. MICROORGANISMOS DEL SUELO

Los microorganismos son la fuerza motriz de diferentes ciclos biogeoquímicos, descomponen las sustancias orgánicas en sus componentes biológicos (agua, gas carbónico y minerales), suministran directamente nutrientes, transforman compuestos orgánicos, solubilizan compuestos inorgánicos, aumentan el desarrollo radicular en las plantas, presentan reacciones antagónicas, parasitismo y control de fitopatógenos, contribuyen al mejoramiento de las propiedades físicas del sustrato. En suelos con pH de 5 a 6, húmedos y buena materia orgánica la mayoría de microorganismos benéficos a los cultivos, existen y sus enzimas son activas. Entre ellos se encuentran bacterias, hongos, protozoarios, actinomicetos, virus y algas.

Entre los géneros bacterianos más importantes por la transformación de los compuestos orgánicos e inorgánicos y que favorecen la nutrición de las plantas están: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Clostridium*, *Thiobacillus*, *Lactobacillus*, y *Rhizobium*. Los géneros de actinomicetos tenemos: *Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Thermoactinomyces*, *Frankia* y *Actinomyces*.

Algunos hongos entran en simbiosis con las raíces llamadas micorrizas, entre estos se encuentran *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Trichoderma*. El *Aspergillus* y el *Penicillium* movilizan el fósforo y el nitrógeno del suelo. El *Trichoderma* sostiene la humedad en las raíces en condiciones de sequía. Algunas levaduras son importantes fermentadoras de carbohidratos produciendo alcoholes que son utilizados por otros microorganismos como fuentes de energía. Entre los géneros más importantes están el *Saccharomyces* y el *Rhodotorula* (Lorenz, 1995).

4. ANTECEDENTES

Uno de los recursos mas valiosos es el suelo, el cual alberga la mayoría de ecosistemas que permite que la vida exista, pero su inadecuado uso está generando su degradación, especialmente cuando el suelo se encuentra desnudo que por efecto de la escorrentía superficial genera arrastre de nutrientes, el hombre preocupado por esta situación se ha tomado la tarea de investigar las causas y los efectos de la erosión, en donde se encuentran estudios internacionales como los realizados por: Belmonte y otros (1999), Forti (2000), Pérez y López (2000), Pinochet et al (2005), Rodríguez y otros (2005), Martínez y Colmenares (1994) y Lorenz (1995).

Un estudio sobre la cobertura, pérdidas de suelo por erosión hídrica y desgastes de lluvia por interceptación, en un matorral, realizadas por Belmonte; y otros (1999) durante nueve años en parcelas de erosión, con intervalos de cobertura, y de pendiente. Establecieron los valores de erosión en un suelo desnudo y su correlación con el correspondiente grado de cubierta vegetal, haciendo lo mismo con el porcentaje de lluvia interceptada. Los resultados indican que en las parcelas con mayor pendiente, necesitan mayor cobertura vegetal. La interceptación del agua de lluvia aumenta con la cobertura vegetal y la pérdida de suelo por erosión hídrica disminuye.

Forti (2000) midió la escorrentía y erosión bajo diferentes sistemas de siembra y cobertura. Utilizó un simulador de lluvia para generar precipitaciones de diferente intensidad sobre parcelas experimentales. Los tratamientos abarcaron diversos grados de cobertura y los sistemas de siembra. Observó que la producción de sedimentos presenta una relación directa con la escorrentía y variable con la precipitación. Los resultados indican que, la escorrentía representa un mejor factor de erosividad que la precipitación, El efecto de la cobertura y método de siembra en la producción de sedimentos resalta la gran influencia del sistema de raíces del pasto sobre la reducción de la erosión.

Estudios en parcelas de erosión efectuados por Pérez y López (2000), con la finalidad de caracterizar los factores de la erosión hídrica que afectan el suelo de la cuenca media del río Chama (Andes venezolanos). Donde las coberturas utilizadas en el estudio fueron papa y pasto kikuyo. Mostraron que la protección ejercida por la cobertura vegetal depende de su tipo. La pérdida de materia orgánica y nutrientes por arrastre en los sedimentos obedecen al grado de protección de la cobertura vegetal, disminuyendo la agresividad de la lluvia.

La calidad agrícola de cuatro enmiendas calcáreas en un suelo ácido derivado de cenizas volcánicas en Costa Rica fue evaluada por Pinochet et al (2005). Para ello se hicieron incubaciones en triplicado de cada enmienda aplicada en dosis de 0,1, 3 y 6 g/kg de suelo. El parámetro de acidez de mayor sensibilidad fue el del aluminio intercambiable, le siguen el del porcentaje de saturación de aluminio junto a la suma de bases y al Ca intercambiable. El pH en CaCl₂ presentó la menor sensibilidad. El efecto de las dosis refleja al valor neutralizante efectivo de las enmiendas y por lo tanto a su calidad agrícola.

En la región Nor-Oriental de Venezuela Rodríguez y otros (2005) realizaron aplicaciones de cal para reducir la acidez del suelo y por los requerimientos del cultivo de maní, contribuyendo así a una mayor disponibilidad de nutrientes. Ejecutaron cuatro experimentos para evaluar y seleccionar cultivares de maní, altamente rendidores, tolerantes a las condiciones de acidez del suelo y determinar su comportamiento diferencial respecto a la producción. Se usaron varias dosis de cal y variedades de maní. Las diferencias entre los cultivares dependió del contenido inicial de calcio en el suelo y el nivel de cal aplicado.

El efecto de diferentes niveles de calcio y fósforo sobre el rendimiento del maíz en un ultisol en Maracaibo Venezuela, fue estudiado en un experimento de invernadero por Martínez y Colmenares (1994). En su estudio el calcio mostró un efecto altamente significativo sobre la disponibilidad del P en el suelo y la producción de materia seca, sin embargo, el efecto del fósforo no fue significativo. Hubo un efecto altamente significativo del calcio. El Al intercambiable descendió al incrementarse el pH por acción del encalado y el fósforo.

En la provincia de Santiago del Estero, Argentina, Lorenz (1995) evaluó un suelo Entisol, que posee buena aireación, penetración para las raíces y retención de agua. Verificó una alta reserva para todos los macronutrientes, sin embargo, la disponibilidad de N y P depende de la transformación microbiana de la materia orgánica del suelo. El pH es de 6,5 presenta buenas condiciones para la actividad de bacterias y actinomicetos. El suelo posee características ecológicas favorables para la vegetación, limitadas o alteradas por las condiciones climáticas.

En Colombia respecto al tema se han realizado los siguientes estudios por: Fernández et al (2005), Rivera (2003), Ramírez et al (2006), Contreras (2000), Escobar et al (1993).

Fernández et al (2005) estudiaron la habilidad fisiológica para solubilizar fosfato inorgánico de diferentes grupos bacterianos como cepas de *Bradyrhizobium sp.*

aislados. Se determinó la capacidad de solubilizar fosfato tricálcico de los grupos de bacterias predominantes en el suelo, de 250 cepas de *Bradyrhizobium* sp. y de 10 cepas de colección. El valor medio de bacterias totales fue $5,1 \cdot 10^6$ (0,06% solubilizadoras) mientras que el valor de hongos totales fue de $3,3 \cdot 10^4$ (9,70% solubilizadores). No se encontraron diferencias significativas en el número de bacterias solubilizadoras de fosfato en los distintos suelos. Concluyeron que existen aislamientos de bacterias del suelo con diferente capacidad solubilizadora de fósforo inorgánico y que las cepas de *Bradyrhizobium* sp. muestra capacidades de solubilización comparables a las de otros géneros bacterianos.

En el resguardo Castilla-Angostura (Coyaima-Tolima) Rivera (2003) evaluó los organismos edáficos como posibles indicadores del impacto de actividades agrícolas. Tomó dos lugares y aplicó dos tratamientos de rastreo. Con el estudio se concluyó que las poblaciones de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre (BFNVL) y solubilizadores de fosfato (MSF) aumentan o disminuyen dependiendo del tipo de cultivo. Las poblaciones de Actinomicetes aumentan la población después del establecimiento de los cultivos. El recuento de Actinomicetes, MSF y BFNVL son buenos indicadores de cambios en el ecosistema. La baja cantidad de microorganismos puede ser un factor limitante de las poblaciones de los artrópodos que se alimentan de ellas, como los ácaros y algunos colémbolos

Para comprobar el efecto de los microorganismos eficientes (EM) en la estructura del suelo Ramírez et al (2006) tomaron cuatro suelos provenientes del municipio de Marinilla - Antioquia, los cuales presentaban diferente grado de intervención, desde no intervenido hasta altamente intervenido. Para lo cual se evaluó la estabilidad estructural. Los efectos de los microorganismos en el suelo están enmarcados en el mejoramiento de las características físicas, químicas y biológicas del mismo, puesto que mejora la estructura y agregación de las partículas del suelo, reduciendo su compactación incrementando los espacios porosos y como consecuencia, mejora la infiltración del agua.

Escobar et al (1993) evaluaron las pérdidas de suelo y agua de escorrentía, en condiciones de lluvia y bajo los sistemas de manejo de bosque, rastrojo, cobertura muerta y suelo desnudo, en el centro de investigaciones "Macagual" del Instituto Colombiano Agropecuario. Los resultados de 12 años señalan que en las áreas experimentales de bosque y rastrojo, el 95% de la precipitación anual se infiltra y el 5% se escurre. En ellos las pérdidas de suelo fueron inferiores a 1ton/ha.año. En la unidad de suelo desnudo se presentaron las mayores escorrentías, 41% del total de la precipitación y las perdidas de suelo, fueron del orden de 27.6 ton/ha.año.

Investigaciones en tres áreas (25% de pendiente) en el Atlántico (Colombia) realizadas por Contreras (2000); con parcelas de escorrentía y tanques colectores. Usó varios tratamientos agronómicos propios de la región; Frijol Caupí, rotación Maíz más cobertura herbácea; Guandú-maíz; Guandú-Millo; Vitabosa-maíz y un tratamiento de suelo desnudo. Las aguas recibidas por efecto de las lluvias, ejercieron durante los tres años de análisis, influencia en las pérdidas de suelo. El tratamiento más crítico es el de suelo desnudo, las pérdidas de materia orgánica y de fósforo total, muestran tendencias negativas. El tratamiento con vitabosa-maíz fue el mejor en controlar la erosión y produjo buenos rendimientos.

En el departamento del Cauca se han realizado los siguientes trabajos Salazar (1995), Pepicano (2006) y Muñoz (2007)

En la microcuenca de la quebrada Arrayanales, cuenca del río Las Piedras, Municipio de Popayán (Cauca), Salazar (1995) investigó el arrastre de nutrientes, y de suelo por acción de la escorrentía superficial, en un relictus de bosque con poca intervención antrópica, para comparar iones de Calcio, Nitrito, Nitrato, Sulfato y Fosfato en muestras tomadas de precipitación, "throughfall" (paso de la lluvia por el follaje) y escorrentía superficial, así como el volumen de agua recogido en las tres muestras y el peso del sedimento arrastrado por la escorrentía. Encontró que no hay diferencia entre la concentración de los iones de las tres muestras. Sustentó que la cobertura vegetal es importante en la protección del suelo.

Estudios realizados por Pepicano (2006) en el municipio de Cajibío, Cauca (Colombia), donde determinó la cantidad de aluminio en el suelo y en las sustancias húmicas; para establecer la capacidad de retención de aluminio del suelo. El suelo presentó humedad muy alta y acidez atribuibles al alto contenido de materia orgánica y a la saturación media de aluminio, induciendo a la deficiencia de fósforo y bajo contenido de bases de cambio. Al aplicar materiales orgánicos sin un adecuado proceso de humificación, se presentan problemas de acidez.

En Popayán-Cauca, Muñoz (2007), estudió la erosión hídrica y el arrastre de nutrientes en zonas de ladera, en parcelas permanentes con cobertura en proceso de sucesión natural y suelo desnudo, durante 6 meses. Determinó que el arrastre de NO_3^- fue de 0.540 y 0.394 mg/Lm^2 en las parcelas de suelo desnudo y cobertura vegetal respectivamente. Los PO_4^{3-} en los dos tratamientos varió entre 0.0386 y 0.0396 mg/Lm^2 presentándose un leve incremento en las parcelas de suelo desnudo. En la escorrentía superficial se obtuvo un mayor valor en el suelo desnudo (2125L) que en la cobertura vegetal (1776 L). Los valores de escorrentía, están relacionados con la intensidad de la lluvia, la cobertura vegetal y características físicas del suelo. Se presentó un arrastre de sedimentos de 7.852 ton/ha/año en el tratamiento con suelo desnudo y 1.886 ton/ha/año en el de cobertura vegetal en proceso de sucesión natural.

5. METODOLOGÍA

5.1. ÁREA DE ESTUDIO

5.1.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

Las parcelas experimentales se encuentran entre los 2° 31`13" de latitud norte y 76° 35`47" de longitud oeste, están ubicadas en El jardín botánico Álvaro José Negret, localizado en la Rejoja, municipio de Popayán. El corregimiento La Rejoja está ubicado a 18 Km. al occidente de Popayán, al sur-occidente de Colombia y en el nor-oriente del Departamento del Cauca el municipio de Popayán; entre los 2° 31`13" de latitud Norte y 76° 35`46" de longitud oeste; tiene una extensión de 2312, 50 hectáreas y se encuentra entre los 1600 y 1800 m.s.n.m., limita por el norte con el corregimiento de Cajibío, por el este con el corregimiento Las Piedras, por el sur con el corregimiento San Bernardino y por el oeste con el corregimiento Santa Rosa. La cabecera del corregimiento corresponde al caserío La Rejoja, lo conforman las veredas de La Rejoja y Villa Nueva (Alcaldía Mayor de Popayán, 2002).

5.1.2. ASPECTOS BIOFÍSICOS.

5.1.2.1. Zona de vida.

De acuerdo con las formaciones vegetales de Holdridge, el municipio de Popayán se encuentra en la zona de vida de bosque muy húmedo premontano (bmh- PM), el cual presenta una temperatura media entre los 18-24° C y un promedio anual de lluvias entre 2000-4000 mm. Esta zona de vida se caracteriza por presentar alta humedad y elevadas temperaturas, por lo cual las plantas crecen rápido, además existen innumerables epífitas, son comunes las mimosáceas, caealpináceas, moráceas, fabáceas, bombacáceas, aráceas, euphorbiáceas, rubiáceas, rosáceas, melastomataceas, retáceas, verbenáceas., entre otras. (Holdridge, 1977).

5.1.2.2. Geología.

Popayán se encuentra situado sobre depósitos fluviales alterados, rocas piroclásticas y cenizas volcánicas, provenientes de la cordillera central. Originando lo que se denomina Formación Popayán, constituida por rocas basálticas, formaciones sedimentarias oceánicas y rocas metamórficas de bajo grado del Cretáceo, con esporádicas intrusiones de rocas de cuarzo dioríticas del Terciario. La edad de la formación de Popayán se asigna al Plioceno-Holoceno. La composición de las rocas y depósitos de esta formación varía desde alcalina-feldespática-igolítica hasta calcoalcalina andesítica (Gobernación del Cauca, Secretaría de Agricultura y Ganadería, Laboratorio de Suelos, 2006).

5.1.2.3. Geomorfología.

La actividad volcánica de la cordillera central y los fuertes movimientos tectónicos ocurridos en todo el Departamento generan un intrincado sistema montañoso, cuyas ramificaciones, depresiones y valles determinan las diferentes unidades geomorfológicas, encontradas en el Municipio, como montañas, planos lacustre y superficies aluviales (Vivas y Muñoz, 1999).

5.1.2.4. Precipitación.

El patrón de distribución en Popayán varía trimestralmente. El periodo con mayor concentración de lluvias se inicia en octubre y concluye en diciembre, con una precipitación de 651,5 mm equivalentes al 41.20% del total anual. El mes con mayor pluviosidad es octubre con 273.6 mm equivalentes al 17.30%. Posteriormente el segundo periodo va desde marzo a mayo, con 482.3 mm equivalentes al 30.50% del total anual. Abril es el mes más lluvioso. Finalmente la época menos lluviosa es junio, julio y agosto con 108.1 mm equivalentes al 6.83% del total anual. Agosto es el mes de menor precipitación con 1.4 mm equivalentes al 0.088%. La diferencia entre el mes más lluvioso y el más seco es 272.2 mm, cifra que dobla el promedio mensual (Vivas y Muñoz, 1999).

5.1.2.5. Brillo solar.

Registra un rango entre 106 y 180 horas mensuales con una mayor concentración del mes de julio al mes de agosto con un valor máximo de 180 horas mensuales en julio. Entre los meses de septiembre y noviembre, el fenómeno disminuye igual que entre febrero y octubre, registrando un valor de 106 horas mensuales (Alcaldía Mayor de Popayán, 1999).

5.1.2.6. Vientos.

En el mes de Agosto se presentan remolinos de fuerte intensidad, ocasionados por corrientes cálidas provenientes del valle del Patía y corrientes húmedas de la costa Pacífica (Vivas y Muñoz, 1999).

5.1.2.7. Suelos.

Los suelos están formados a partir de cenizas volcánicas (Andosoles háplicos-AnhG), algunos de ellos con alto contenido de materia orgánica (Andosoles úmbricos- Anu). (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1995). Los suelos de la meseta de Popayán son muy ácidos, con buenas condiciones físicas, para la siembra de cultivos zonales, poco retenedores de agua, suelto, con alta permeabilidad. La materia orgánica aporta pocos elementos a las plantas, debido a su alto contenido de aluminio (Secretaría de Agricultura y Ganadería, Gobernación del Cauca, 2006).

5.1.2.8. Temperatura.

La variación de la temperatura en el municipio de Popayán oscila entre 18.2°C y 19.3°C. La temperatura mínima se registra en el mes de Julio y de Agosto (11.5°C) y la temperatura máxima se presenta en el mes de Agosto (25.3°C). (Alcaldía Mayor de Popayán, 2002).

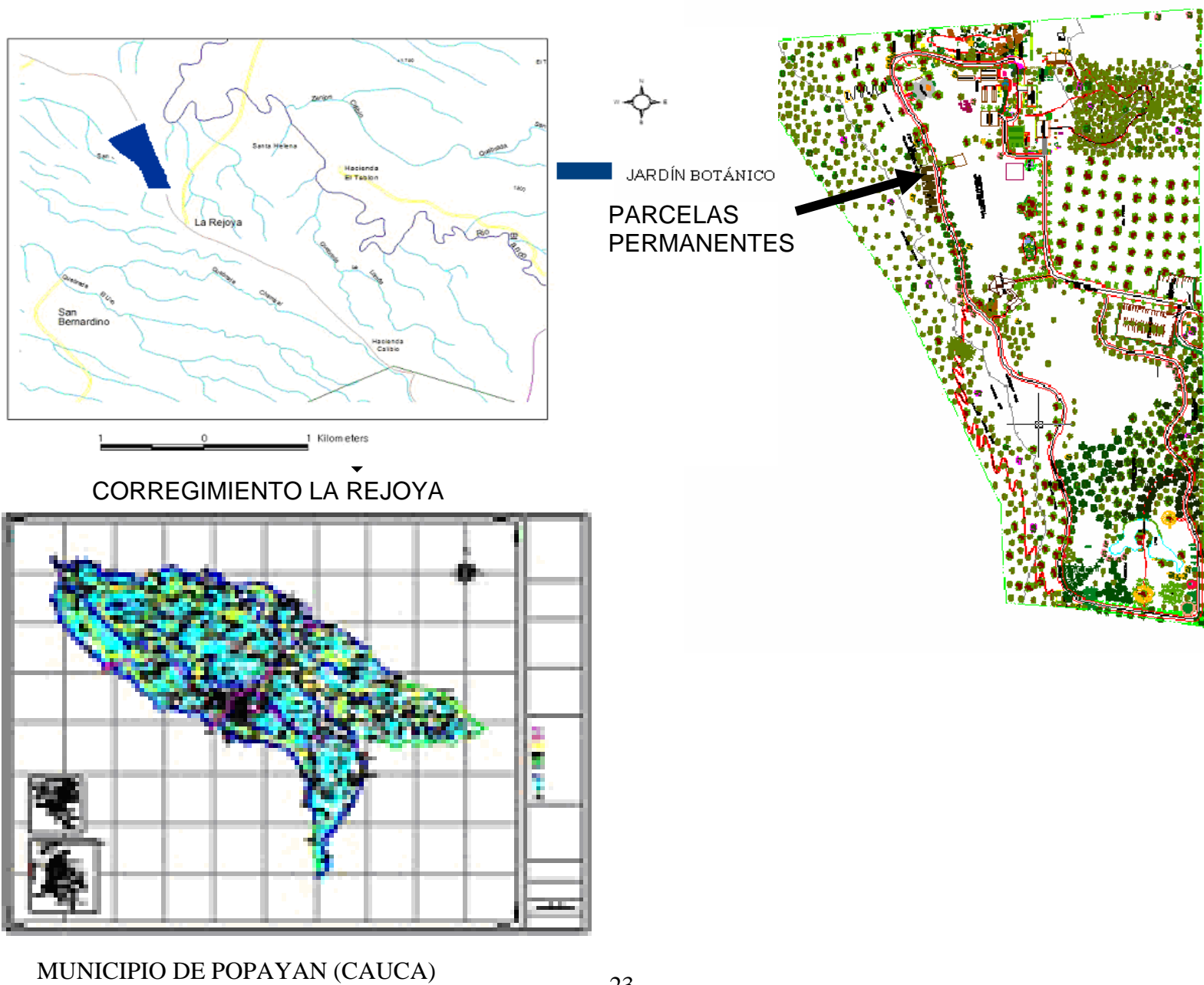
5.1.2.9. Humedad relativa.

La humedad relativa varía entre 69 y 82 %. Está relacionada con la presencia en mayor o menor grado de la precipitación y de otros factores meteorológicos, al igual que la cobertura vegetal. (Alcaldía Mayor de Popayán, 2002).

5.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El trabajo se desarrolló en el Jardín Botánico Álvaro José Negret, ubicado en el corregimiento La Rejoja, municipio de Popayán (Figura 4.), se localiza entre 2°31'13" latitud Norte y 76°35'46" longitud Oeste, a una altura de 1790 msnm.

Figura 4. Localización del área de estudio.



5.3. DESCRIPCIÓN DE LAS PARCELAS EXPERIMENTALES.

5.3.1. Parcelas experimentales: seis parcelas

Cada parcela experimental de las seis presentes tienen bordes que miden 10 m. de largo por 5 m. de ancho, con un área de 50 m² y el muro tiene 35 cm. de alto de los cuales 20 cm. están enterrados. Los bordes están contruidos con muros de ladrillo y cemento. Muestran pendientes uniformes que oscilan entre 20 y 30 % (Figura 5).

Cada parcela en el extremo inferior tiene un sistema de recolección, en forma de V, con unas dimensiones de 5 m de largo, 30 cm de ancho y 10 cm de alto. El canal colector va unido a un tubo de PVC de 4" que transporta el agua de escorrentía a un tarro de polietileno con capacidad de 130 L.

Figura 5. Parcela experimental



5.4. DISEÑO EXPERIMENTAL

5.4.1. Parcelas con suelo desnudo y cobertura en proceso de sucesión vegetal.

La unidad experimental es cada parcela, a las seis parcelas se les aplicó dos tratamientos, tres repeticiones para cada tratamiento, para que haya aleatoriedad se asignaron los tratamientos al azar, tres parcelas con suelo desnudo y tres con cobertura en proceso de sucesión vegetal.

5.4.2. Encalado

La adición de cal se realizó al inicio del estudio, a todas las parcelas se agregó al voleo la misma cantidad de cal y de modo uniforme sobre toda la superficie del terreno. Se les aplicó cal agrícola (CaCO_3) como material encalante, el cual deben atravesar un tamiz de 60 mesh (250 μm) para asegurar un 100 % eficiencia (Pinochet, Ramírez y Suárez, 2005).

La dosis de aplicación se fundamentó en la cantidad de calcio requerida para neutralizar los niveles tóxicos de Aluminio, teniendo en cuenta que un miliequivalente de Al en el suelo se puede neutralizar con un miliequivalente de Calcio. Al hacer los cálculos se tuvo presente que: Un miliequivalente de Calcio= 400 Kg. de Ca/ha. Una vez se escogió el tipo de cal que se utilizó y conociendo la concentración de Calcio de ese material, se calculó la cantidad de enmienda necesaria para lograr los objetivos (Blanco, 2003)

miliequivalente de Al / % de Calcio en la cal = cantidad de cal a aplicar e Kg./ha

Donde un $\frac{\text{miliequivalente de Al}}{100\text{g suelo}} = \frac{\text{un miliequivalente de Calcio}=400\text{Kg de Ca/ha}}{100\text{g suelo}}$

5.5. MÉTODOS DE MUESTREO

5.5.1. Datos Pluviométricos

Por medio de pluviómetros artesanales contruidos con tarros de polietileno (envases de gaseosa de 1.5 L) que se ubicaron cuatro por parcela, se midieron los datos de precipitación. Los pluviómetros artesanales se revisaron todos los días durante las temporadas de lluvia o cada cinco días en época de verano durante 6 meses.

5.5.2. Muestreo de suelo para análisis físico, químico y microbiológico.

Antes y después de adicionar cal agrícola, se evaluaron algunas propiedades físicas del suelo como: textura, humedad, densidad aparente y densidad real, porosidad y conductividad hidráulica, análisis químico para Aluminio, Nitrógeno y Fosfatos y microbiológico; para lo cual se tomaron 20 submuestras de suelo en forma de zig-zag en cada parcela, se cavó un hoyo en forma de V, de unos 25 cm. de profundidad, se eliminaron los bordes y se guardaron en bolsas de polietileno, se realizó una muestra compuesta para los dos tratamiento (suelo desnudo y con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural).

5.5.3. Muestreo de suelo y agua de escorrentía

Los sedimentos de suelo y el agua de escorrentía presentes en los colectores se muestrearon todos los días durante las temporadas de lluvia, y se homogenizaron sacando una muestra por semana y por parcela.

Se llevó registros de campo que incluyen el volumen total de agua de escorrentía hallada en cada colector de polietileno, se mezclaron con los sedimentos que se encontraban en el interior del colector y se procedió a tomar una muestra de 1000ml por cada colector, que posteriormente se analizó en el laboratorio la cantidad de sedimentos, de Nitrato, Calcio y de Fosfatos, (ver métodos de determinación de Nitrato, Calcio y Fosfatos respectivamente).

5.5.4. Muestreo de vegetación en proceso de sucesión natural.

El muestreo de la vegetación en proceso de sucesión en las parcelas experimentales se realizó cada dos meses, para no dañar la vegetación de las parcelas se tomaron muestras de las mismas especies alrededor de las parcelas.

5.5.5. Desinfección, traslado y almacenamiento del material muestreado

El material colectado se rotuló con su respectiva fecha y hora, subsiguientemente se trasladó al laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales de la Universidad del Cauca y se almacenó en un congelador para sus respectivos estudios. Todo el material se sometió a desinfección antes y después de usarlos.

5.6. MÉTODOS DE LABORATORIO

5.6.1. Método de determinación de Nitrato (NO_3^-).

Se aplicó la técnica de test selectivo en cubetas para nitrato con el método No. 14773, mediante el equipo Spectroquant (Merck Nova) que lee la absorbancia de nitrato entre un rango de 0.5-20.0 mg/L de NO_3^- (Figura 7)

Se utilizaron las siguientes soluciones:

- $\text{NO}_3^- - 1 \text{ A}$
- $\text{NO}_3^- - 2 \text{ A}$, ácido sulfurico.

En un tubo de ensayo seco se agregó una microcucharada azul de $\text{NO}_3^- - 1 \text{ A}$, luego se añadió con una pipeta 5ml de $\text{NO}_3^- - 2 \text{ A}$, se agito intensamente por un minuto para disolver la sustancia sólida, se procedió a añadir 1.5ml de la muestra y se mezcló. Tiempo de reacción 10 minutos, se añadió la solución a una cubeta y se realizo la lectura.

Figura 6. Sonda Multiparamétrica: YSI 6820 and 6920 Compact Sondes



5.6.2. Método de determinación de Fosfatos (PO_4^{3-}).

Se aplicó la técnica de test selectivo en cubetas para fosfatos con el método No. 14848, mediante el equipo Spectroquant (Merck Nova) que lee la absorbancia de fosfatos entre un rango de 0.05-15.0 mg/L. (Figura 7)

Figura 7. Spectroquant (Merck Nova).



Para la determinación de fosfatos se utilizaron las siguientes soluciones:

P-1A: para preparar 100mL, se requiere de 50mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) 5m, 5mL de solución de tartrato antimonílico potásico ($\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$) 0,008M, 15 mL de solución de molibdato amónico ($(\text{NH}_4)_6 \text{Mo-O}_{24} 4\text{H}_2\text{O}$) 0,068M y 30mL de solución de ácido ascórbico 0.01M.

P-2A, contiene una solución patrón de fosfatos que se preparó disolviendo 219.5 mg de fosfato diácido de potasio (KH_2PO_4) anhidro en agua destilada y diluir a 1.000 mL; 1,00mL = 50 μg de PO_4^{3-} (Apha, 1992).

A 5mL de la muestra se agregó 0.2mL P-1A, se mezcló y adicionó 0.1mL P-2A, se esperó 5 minutos y se realizó la lectura

5.6.3. Método de determinación de Calcio

Se aplicó la técnica de test selectivo en cubetas para Calcio con el método No. 14815, mediante el equipo Spectroquant (Merck Nova) que lee la absorbancia de Ca entre un rango de 10-1600 mg/L. (Figura 7).

Primero se comprobó el valor de pH de la muestra con un intervalo entre 4-10. Luego se adicionó 0.1ml de la muestra en un tubo de ensayo, a esta se agregó 5 ml de Ca-1 A, se mezcló, se adicionó 4 gotas de Ca-2A y 4 gotas de Ca-3A. El tiempo de reacción fue de 8min (Figura 8). Se colocó la solución en la cubeta y se realizó la lectura de los resultados.

Figura 8. Análisis de calcio en agua de escorrentía.



5.6.4. Método para la determinación de aluminio (Al^{+3}) intercambiable

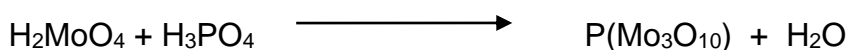
La metodología consiste en desplazar todos los iones presentes en el suelo agitando una muestra con una solución neutra de KCl 1N liberando así los iones H^+ y Al^{+3} , los cuales se titularon con soda en presencia de fenofaleína. Una vez titulados estos iones, quedando en forma de $[Al(H_2O)_5]^{3+} OH^-$ se valoró el aluminio presente en forma hidratada de acuerdo a las siguientes ecuaciones



El NaOH generado se tituló con HCl y como la cantidad de NaOH depende de la cantidad de $AlCl_3$, el número de miliequivalentes de HCl empleados para neutralizar el NaOH es igual al número de miliequivalentes de Al^{+3} . Se pesaron 5g. de suelo tamizado en una malla de 2 mm y se agregó 50 mL de KCl 1N se agitó por 5 min. y se filtró. Al filtrado se le agregó 3 gotas de fenofaleína y se tituló con NaOH 0.05 N.

5.6.5. Método para la determinación de Fosfatos (Bray II)

El ion fluoruro precipita el calcio soluble por lo que se extrae las formas P-Ca más solubles. También compleja el aluminio por lo que el ión fluoruro es específico para el CaHPO₄ y P-Al y por lo tanto para las formas básica de P-Ca o compuestos P-Fe. Una vez extraído el fósforo se procedió a su determinación por el método colorimétrico, el cual consiste en formar un complejo del fósforo con Acido molibdico. El método cloro molibdico utilizó una solución de HCl-(NH₄)₆Mo₇O₂₄ 4 H₂O donde al reaccionar produce H₂MoO₄



Hetero compuesto incoloro que por reducción forma un compuesto de color azul que absorbe a 660 y 835nm, siendo la banda de mayor intensidad la de 660nm. La reducción se realizó con acido ascórbico en presencia de HCl. (Figura 9)

Figura 9. Análisis fosfatos método Bray II



5.6.6. Método kjeldhal para determinación del nitrógeno total en el suelo.

Para la determinación del nitrógeno total presente en el suelo se uso el método kjeldhal, en donde las muestras de suelo se trataron con ácido sulfúrico y catalizadores para oxidar la materia orgánica y convertir el nitrógeno en sulfato ácido de amonio. El sulfato ácido de amonio se descompuso por medio de un exceso de álcali para liberar el amoniaco el cual se recogió por destilación sobre ácido bórico. El borato de amonio formado en el paso anterior se valoró con HCl o H₂SO₄ usando como indicadores de punto final una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno.

5.6.7. Microorganismos del suelo

Con el suelo previamente secado, se pesaron 10g, que se colocaron en un frasco con 90mL de solución salina estéril, se agitó por 30 minutos, esta es la dilución 10⁻¹ y se realizaron diluciones 10⁻³, 10⁻⁵ y 10⁻⁶ las cuales se sembraron en diferentes medios de cultivo. Para el recuento total de bacterias se utilizó agar nutritivo, agar para actinomicetos y para mohos y levaduras agar PDA. Se determinó el número de colonias.

5.6.8. Conductividad

Se tomó una muestra de agua de escorrentía filtrada de 350mL se sometió a análisis de conductividad mediante la Sonda Multiparamétrica: YSI 6820 and 6920 Compact Sondes (Figura 6), la cual fue calibrada con anterioridad para que determine un intervalo de 0 a 100 mS/cm de conductividad.

5.6.9. pH

Para determinar el pH fue necesario tomar una muestra de agua filtrada de escorrentía de 500mL, la cual se analizó mediante la Sonda Multiparamétrica: YSI 6820 and 6920 Compact Sondes (Figura 6), Este equipo determina el pH en un rango de 0 a 14 unidades.

5.6.10. Determinación de la cantidad de sedimentos en los colectores de agua.

Las muestras de agua de escorrentía recolectadas en los colectores de propileno, fueron filtradas, luego el sedimento se secó en una estufa durante 24 horas a 105°C hasta obtener un peso constante, este tratamiento se realizó para determinar la cantidad de sedimentos por litro de agua recolectado.

5.6.11. ANÁLISIS FÍSICO DE SUELO.

5.6.11.1. Densidad aparente

Este análisis se realizó a través del método del Cilindro, consiste en tomar una muestra de suelo sin disturbar en un cilindro de un volumen conocido, los cilindros metálicos miden 5 cm. de alto por 2,5 cm. de radio.

5.6.11.2. Densidad real.

El método del Picnómetro permite determinar la densidad real, que consiste en hallar la masa y el volumen de los sólidos del suelo a través de un frasco de volumen conocido. Para determinar este parámetro se utilizó la siguiente fórmula.

Densidad Real $D_R = \text{Peso del suelo seco al aire (g)} / \text{Volumen del suelo (cm}^3\text{)}$.

5.6.11.3. Porosidad total

Se determinó a través de la siguiente fórmula: $P = S - S_a/S * 100$

Donde: P = porosidad en porcentaje del volumen total de una muestra.

S = densidad real del suelo y S_a = densidad aparente del suelo.

5.6.11.4. Conductividad hidráulica

El método a utilizar es el de Carga Constante en muestras de suelo sin disturbar. Se utilizó cilindros de suelo sobre los que se mantiene una carga constante de agua, midiendo después del equilibrio el volumen que pasa a través del suelo en un tiempo determinado.

Los cálculos se realizaron a partir de la siguiente ecuación: $K=V/A \Delta t ([H+L]/L)$

K: Conductividad hidráulica en cm/hora.

V: Volumen de agua recogida en la probeta. (cm³).

A: Área de la sección circular del cilindro (cm²)

Δt : Tiempo transcurrido para recoger el agua que percola.(h)

H: Carga de agua que se mantiene constante por encima del nivel superior del cilindro de suelo (cm).

L: Altura del cilindro de suelo (cm).

Donde $[H+L]/L$ es el gradiente hidráulico.

5.6.11.5. Textura.

Para determinar la textura del suelo se utilizó el método de Bouyucos que permite determinar la cantidad de sólidos totales en suspensión por medio del hidrómetro que aplica el principio de stokes (Primo y Carrasco, 1973).

5.6.11.6. Humedad.

Se determinó por el método Gravimétrico, pesando la muestra de suelo antes y después del calentamiento. Para este análisis se secó a la estufa de 25 a 50g de suelo, durante 24h a 105°C, hasta obtener un peso constante y por diferencia de pesado se determinó el porcentaje de humedad.

5.6.11.7. pH

El pH se determinó por medio de un potenciómetro teniendo en cuenta que el electrodo de vidrio reacciona lentamente a los cambios de pH, debido a partículas de arcilla o de carbonatos adheridas al bulbo del electrodo y que no se pueden eliminar con agua destilada. El rejuvenecimiento se logra por inmersión en HF diluido durante 10 a 15 seg. Los electrodos nuevos deben hidratarse de 24 a 48 horas en agua, antes de su uso (Bravo y Giraldo, 1998).

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ADICIÓN DE CAL

Con base en los análisis fisicoquímicos iniciales de suelo correspondientes a pH (tabla 34) y Aluminio intercambiable (tabla 37) se determinó que el suelo presentaba pH ácido (5,49) y alta concentración de aluminio intercambiable (0,950 meq/100g). Para neutralizar la acidez del mismo y reducir el contenido del aluminio, de acuerdo con el tamaño de cada parcela experimental (50m²) se calculo adicionar 1,9kg de cal agrícola por parcela a través del método del voleo.

El encalado además de elevar el pH y disminuir el aluminio, aumenta la disponibilidad del fósforo, mejora el suministro de calcio, las condiciones de nitrógeno del suelo, en consecuencia mejora la adaptabilidad y los requerimientos de algunas especies y variedades de cultivos (Montenegro, 1995).

6.2. PRECIPITACIÓN

La precipitación registrada durante los meses de estudio concierne a los promedios diarios de veinticuatro pluviómetros artesanales y a la sumatoria para obtener los datos correspondientes a cada mes (tabla 1)

Tabla 1. Precipitación durante los meses de estudio.

| MES | PRECIPITACIÓN (mm) |
|--------|--------------------|
| MARZO | 184 |
| ABRIL | 218 |
| MAYO | 235 |
| JUNIO | 75 |
| JULIO | 98 |
| AGOSTO | 81 |
| TOTAL | 981 |

Los mayores registros de precipitación fueron de 235mm y 218mm correspondientes a los meses de mayo y abril respectivamente; durante la época de estudio el reporte total de precipitación fue de 981mm.

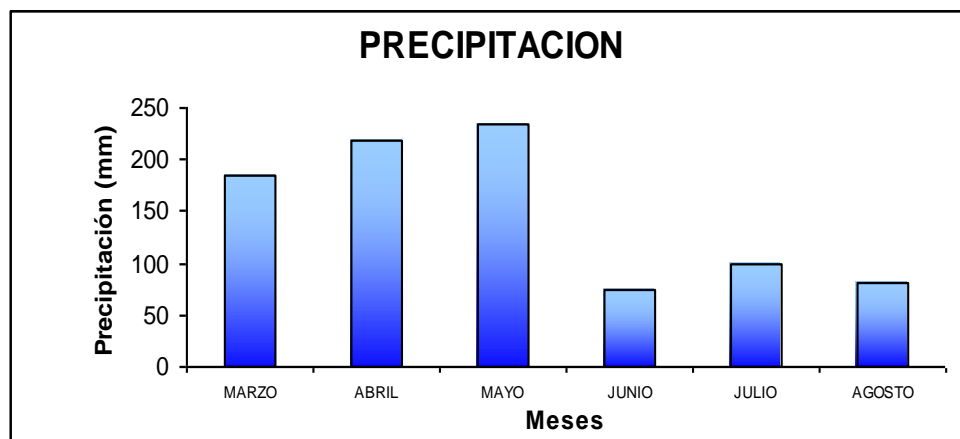


Gráfico 1. Precipitación durante los meses de estudio

6.3. ANÁLISIS DE LA CANTIDAD DE SUELO ARRASTRADO Y VOLÚMENES DE ESCORRENTÍA

Los volúmenes de agua de escorrentía y de la cantidad de suelo arrastrado de cada mes corresponden a la sumatoria de los datos de cada parcela para obtener el total mensual de cada una de las parcelas y al promedio de las tres parcelas para adquirir los resultados de cada tratamiento suelo desnudo (tabla 2) y suelo con vegetación (tabla 41).

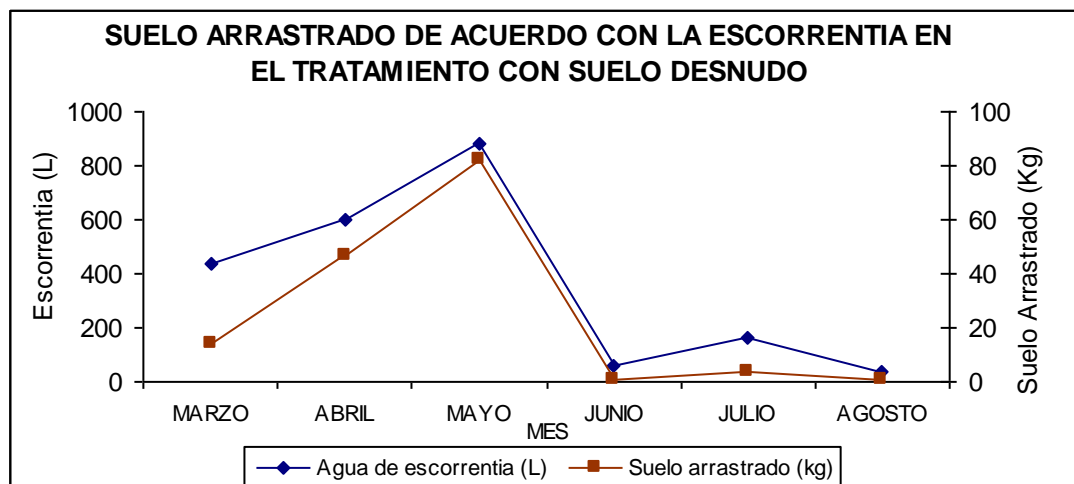
Tabla 2. Agua de escorrentía y suelo arrastrado en cada mes de estudio en el tratamiento con suelo desnudo

| Mes | Agua de escorrentía (L) | Suelo arrastrado (kg.) | Suelo arrastrado (Kg./L) |
|--------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| Marzo | 438 | 13,843 | 0,0316 |
| Abril | 599 | 46,338 | 0,0773 |
| Mayo | 879 | 82,479 | 0,0938 |
| Junio | 62 | 0,603 | 0,0097 |
| Julio | 163 | 3,535 | 0,0217 |
| Agosto | 38 | 0,455 | 0,0121 |
| TOTAL | 2179 | 147,253 | 0,2462 |

En el mes de mayo se presentó la mayor cantidad de suelo arrastrado (82,479Kg), que corresponde al mes con el más alto volumen de escorrentía (879L), seguido del mes de abril con 46,338kg de suelo arrastrado y 599L de agua de escorrentía.

Los valores más bajos de suelo arrastrados se presentaron en los meses de agosto y de junio (0.386Kg y 0.603Kg), donde los volúmenes de agua de escorrentía disminuyeron considerablemente (agosto: 38L y junio: 62L). En el mes de julio por efecto del cambio climático se incrementó la precipitación con la cantidad de agua de escorrentía y de suelo arrastrado (Gráfico 2)

Gráfico 2. Suelo arrastrado de acuerdo con la escorrentía en el tratamiento con suelo desnudo.



Durante los seis meses de estudio se recolectó un volumen total de 2179L agua de escorrentía y una cantidad de suelo arrastrado de 147,253Kg. en el tratamiento con suelo desnudo. El agua que cae en forma de precipitación contribuye a diversos procesos físicos, químicos, biológicos y de meteorización del suelo; pero sin embargo sobre el suelo desnudo las gotas de lluvia impactan directamente generando erosión por salpique, provocando el arranque y dispersión de los agregados del suelo, las partículas más finas quedan en suspensión y el agua superficial las arrastra. La pérdida de la estructura y el sellamiento del suelo debido al arrastre de partículas, disminuye sustancialmente la capacidad de infiltración del suelo. Este incremento el volumen de agua de escorrentía y la cantidad de suelo arrastrado, otro factor que influyó en que estos resultados fue la pendiente (20%) de las parcelas experimentales.

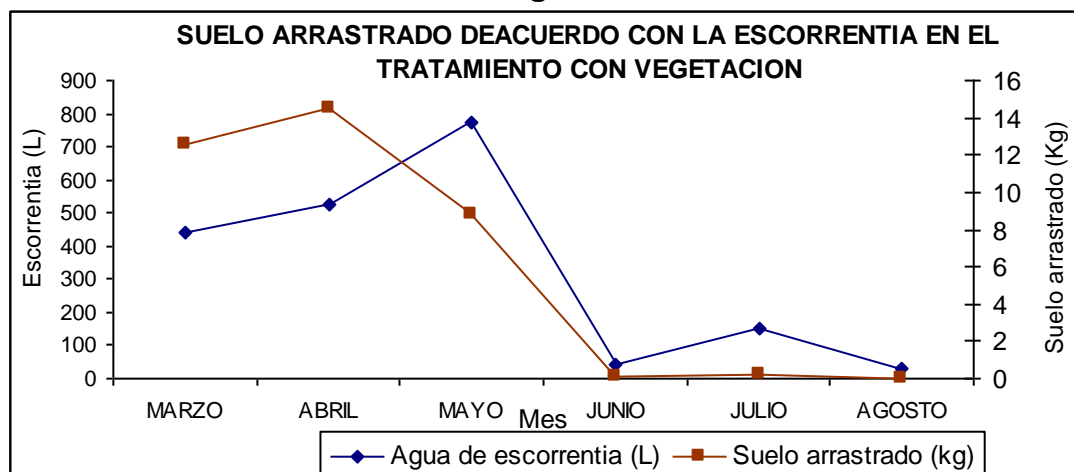
La tabla 3 presenta los valores de agua de escorrentía y suelo total arrastrado en el tratamiento con vegetación.

Tabla 3. Agua de escorrentía y suelo arrastrado en cada mes de estudio en el tratamiento vegetación.

| Mes | Agua de escorrentía (L) | Suelo arrastrado (kg.) | Suelo arrastrado (Kg./L) |
|--------|-------------------------|------------------------|--------------------------|
| MARZO | 442 | 12,524 | 0,0283 |
| ABRIL | 528 | 14,476 | 0,0274 |
| MAYO | 770 | 8,843 | 0,0115 |
| JUNIO | 45 | 0,090 | 0,0020 |
| JULIO | 151 | 0,246 | 0,0016 |
| AGOSTO | 30 | 0,014 | 0,0005 |
| TOTAL | 1967 | 36,193 | 0,0713 |

El mes con el registro más alto de suelo arrastrado fue abril (14.476Kg), con un volumen de escorrentía de 528L, seguido de marzo con 12.524Kg de suelo arrastrado y 442L de agua de escorrentía. El mes de mayo presentó un registro de 8.843Kg de suelo arrastrado y 770L, siendo este valor el más alto en el registro de agua de escorrentía, pero la cantidad de suelo arrastrado no fue tan alta debido a la presencia de vegetación y los meses con los valores más bajos fueron junio, julio y agosto. (Gráfico 3)

Gráfico 3. Suelo arrastrado de acuerdo con la escorrentía en el tratamiento con vegetación.



El volumen total de escorrentía durante el tiempo de estudio en el tratamiento con vegetación fue de 1967L y un total de suelo arrastrado de 36.191Kg., el suelo arrastrado fue disminuyendo con el transcurso del estudio debido a que las parcelas estaban siendo cubiertas por la vegetación natural que protege contra la

erosión, ya que amortigua el impacto del golpe de las gotas de lluvia; reducen el escurrimiento, aumentan la infiltración, forma hojarasca y raicillas que disminuyen la velocidad y fuerza del agua; retienen y amarran el suelo.

La vegetación en todos sus estratos, desde la herbácea hasta la arbórea juega un papel importante en la estabilidad de las laderas debido a que contribuye con el anclaje de estratos superficiales del suelo a estratos estables más profundos, la interceptación de la lluvia y la evapotranspiración, lo cual permite disminuir la saturación de agua del terreno; el drenaje del suelo, cuanto más densa sea la vegetación, mejor protegido estará el suelo de la erosión superficial, durante el estudio el porcentaje de cobertura vegetal se incrementó contribuyendo a disminuir el arrastre del suelo.

La tabla 4 presenta el total de suelo arrastrado durante los seis meses de estudio que corresponde a 29.437 ton/ha y 7,238ton/ha para el tratamiento de suelo desnudo y con vegetación respectivamente.

Tabla 4. Suelo arrastrado durante el estudio de los dos tratamientos suelo desnudo y con vegetación.

| Mes | Suelo arrastrado (ton/ha) | |
|--------|---------------------------|----------------------|
| | Suelo desnudo | Suelo con vegetación |
| MARZO | 2,769 | 2,505 |
| ABRIL | 9,268 | 2,895 |
| MAYO | 16,496 | 1,769 |
| JUNIO | 0,121 | 0,018 |
| JULIO | 0,707 | 0,049 |
| AGOSTO | 0,091 | 0,003 |
| TOTAL | 29,451 | 7,239 |

6.3.1. Diseño con medidas repetidas para suelo arrastrado

Teniendo en cuenta la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk los datos se acomodan a la distribución normal, lo que posibilita la aplicación de la prueba paramétrica de diseño con medidas repetidas, como variables intra-sujetos o variables dependientes, se tomó la sumatoria de cantidad de suelo arrastrado durante cada uno de los meses por cada parcela (seis meses: repeticiones temporales) y como factor inter-sujeto o variable independiente, se utilizaron los tratamientos con suelo desnudo y suelo con vegetación, cada uno con tres repeticiones.

Tabla 5. Diseño con medidas repetidas para suelo arrastrado

Pruebas de efectos intra-sujetos.

| Fuente | gl | F | sig |
|--------------------------|----|---------|-------|
| Suelo | 5 | 85,798 | 0,000 |
| Tratamiento ^a | 1 | 172,930 | 0,000 |
| Suelo*Tto | 5 | 52,814 | 0,000 |

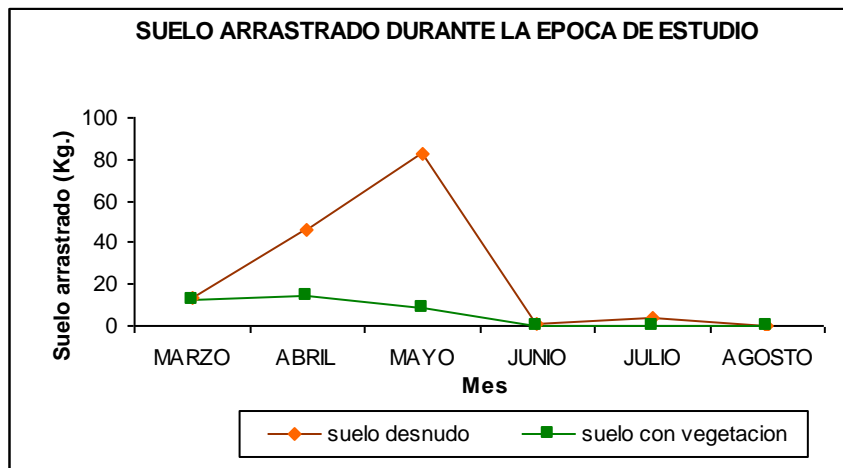
^a Variable transformada promedio

El diseño con medidas repetidas reporta un nivel de significancia de $p: 0,000$, $F:85,798$ para la variación del suelo arrastrado por la escorrentía en el tiempo de estudio, con base a esto se puede afirmar que la cantidad de suelo arrastrado presenta un cambio significativo durante los seis meses de investigación.

Con relación al tratamiento el diseño estadístico fue significativo ($p:0,000$, $F: 172,930$), indicando que la cantidad de suelo arrastrado en el tratamiento de suelo desnudo difiere de la cantidad de suelo arrastrado en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural.

Entre el tratamiento y la cantidad de suelo arrastrado hubo interacción ($p:0,000$, $F:52,814$). La menor cantidad de suelo arrastrado se presentó en el tratamiento con vegetación, la cual con el transcurso del tiempo fue creciendo evitando el arrastre de suelo. (Gráfico 4)

Gráfico 4. Suelo arrastrado durante la época de estudio



6.3.2. ANÁLISIS DEL VOLUMEN DE ESCORRENTÍA

La tabla 6 presenta los volúmenes de agua de escorrentía durante cada uno de los meses de estudio y el volumen total correspondiente a los seis meses.

Tabla 6 Volumen de agua de escorrentía

| Mes | Agua de escorrentía (L) | |
|--------|-------------------------|----------------------|
| | Suelo desnudo | Suelo con vegetación |
| MARZO | 438 | 442 |
| ABRIL | 599 | 528 |
| MAYO | 879 | 770 |
| JUNIO | 62 | 45 |
| JULIO | 163 | 151 |
| AGOSTO | 38 | 30 |
| TOTAL | 2179 | 1967 |

El volumen de escorrentía y la cantidad de suelo arrastrado es menor en el tratamiento con vegetación con respecto al tratamiento de suelo desnudo, esto se debe al crecimiento de la vegetación.

6.3.2.1. Diseño con medidas repetidas para escorrentía

De acuerdo con la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk los datos se acomodan a la distribución normal, por lo tanto se aplicará la prueba paramétrica de diseño con medidas repetidas, donde las variables intra-sujetos o variable dependiente, son los valores de escorrentía mensuales de cada parcela (seis meses: repeticiones temporales) y el factor inter-sujeto o variable independiente, corresponde a los tratamientos con suelo desnudo y suelo con vegetación, cada uno con tres repeticiones.

Tabla 7. Diseño con medidas repetidas para escorrentía

Pruebas de efectos intra-sujetos.

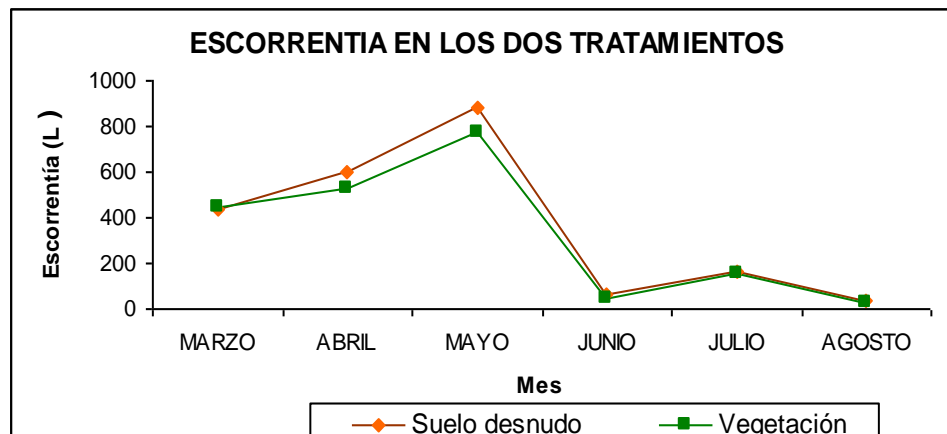
| Fuente | gl | F | sig |
|--------------------------|----|----------|-------|
| Escorrentía | 5 | 4709,327 | 0.000 |
| Tratamiento ^a | 1 | 44.154 | 0.003 |
| Escorrentía*Tto | 5 | 23.060 | 0.000 |

^a Variable transformada promedio

Según el diseño con medidas repetidas, para la variación de la escorrentía en el tiempo de tratamiento reporta un nivel de significancia de $p: 0.000$, $F: 4709.327$, por lo tanto se puede afirmar que la escorrentía presenta un cambio significativo durante los seis meses de estudio.

En cuanto al tratamiento fue significativo ($p:0.003$, $F: 44.154$), indicando que son diferentes. Hay interacción entre el tratamiento y la escorrentía con un alto nivel de significancia ($p:0.000$, $F:23.060$). El tratamiento que menos volumen de escorrentía presentó fue el de vegetación, donde los volúmenes fueron disminuyendo con el transcurso del tiempo por el crecimiento de las plantas (Gráfico 5).

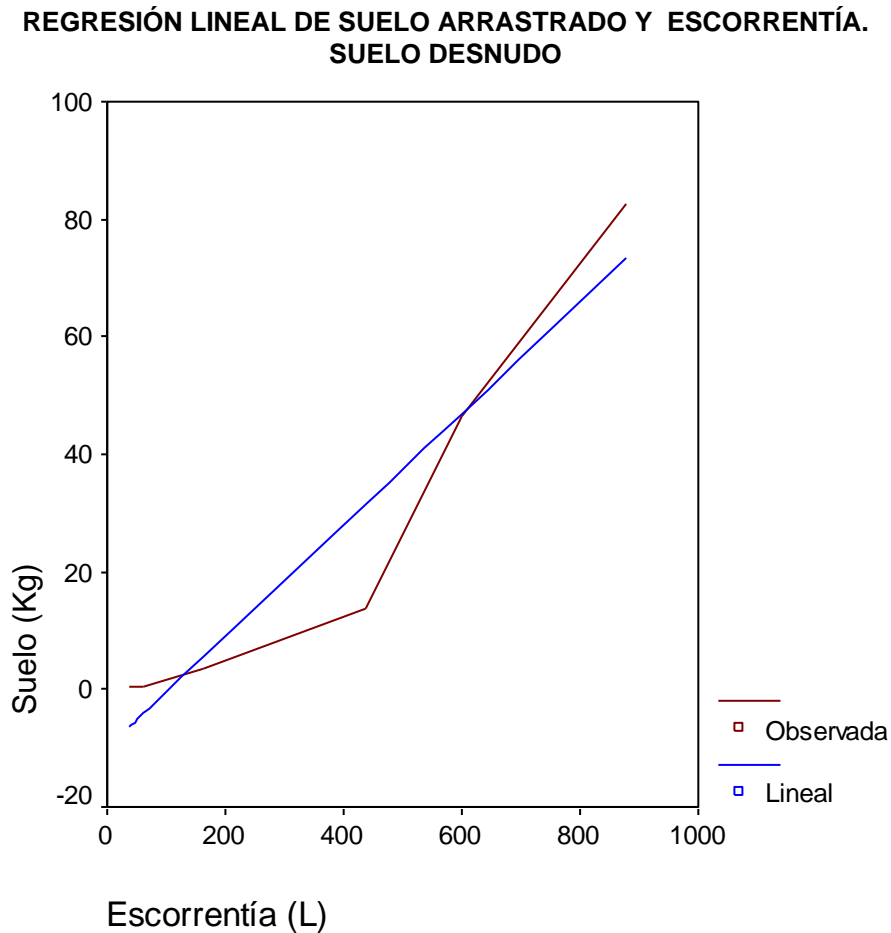
Gráfico 5. Escorrentía en los dos tratamientos



6.3.3. Regresión lineal suelo arrastrado y escorrentía en el tratamiento con suelo desnudo

Para el análisis de regresión lineal se tomó como variable independiente los valores promedios mensuales de escorrentía y como variable dependiente los valores promedios mensuales de suelo arrastrado para cada uno de los tratamientos suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural.

Gráfica 6. Regresión lineal del suelo arrastrado versus escorrentía en el tratamiento con suelo desnudo.



$$Y = a + bx$$

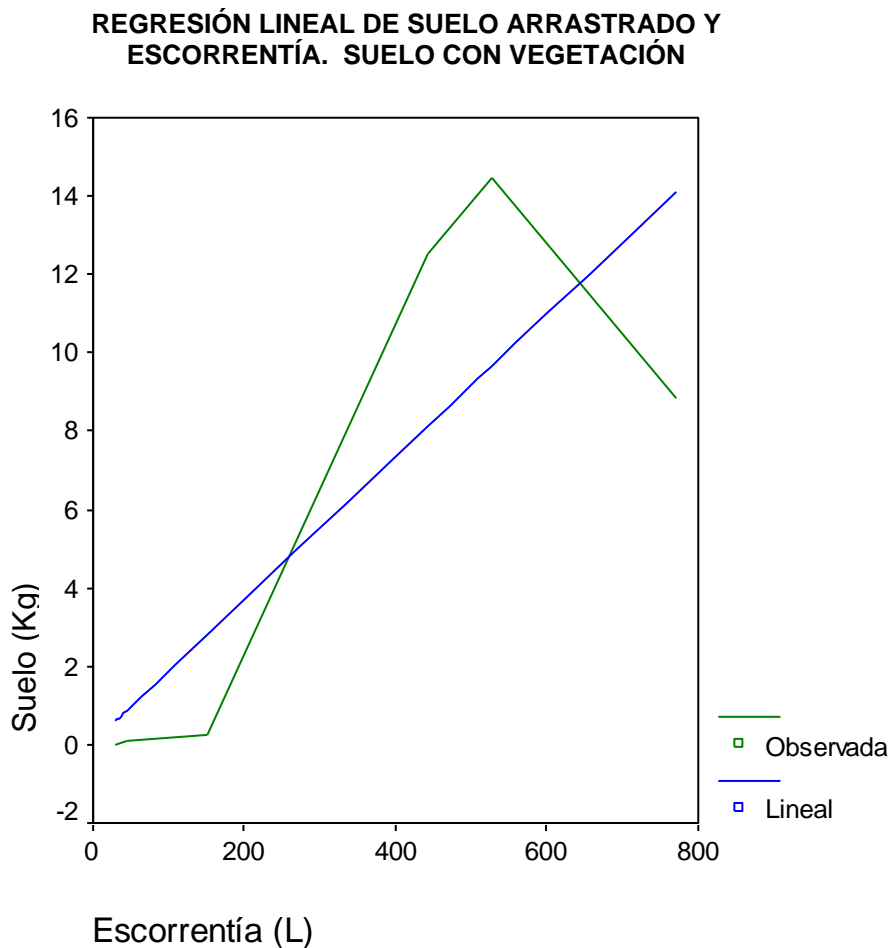
$$\text{Suelo arrastrado (Kg)} = -9,9013 + 0,0948 (\text{escorrentía (L)})$$

$$R: 0,956$$

Según el análisis de regresión lineal, el coeficiente de correlación (R) indica que las variaciones en la cantidad de suelo arrastrado, depende en un 95,6% de la variabilidad de la escorrentía del tratamiento de suelo desnudo, demostrando que por cada litro de escorrentía que se genere tiende a arrastrar un promedio de 0,0948 Kg. de suelo (Gráfico 6)

6.3.4. Regresión lineal suelo arrastrado y escorrentía en el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural

Gráfico 7. Regresión lineal del suelo arrastrado versus escorrentía en el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión.



$$Y = a + bx$$

$$\text{Suelo arrastrado (Kg)} = 0,0641 + 0,0182 (\text{escorrentía (L)})$$

$$R: 0,810$$

El coeficiente de correlación (R) reportado por el análisis de regresión lineal demuestra que la variabilidad de la escorrentía del tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural explica en un 81,0% la variabilidad en la cantidad de suelo arrastrado, por lo tanto, por cada litro de escorrentía que se genere tiende a arrastrar un promedio de 0,0182 Kg. de suelo (Gráfico 7).

Después de que el suelo se ha saturado, el agua comienza a escurrir arrastrando partículas que forman el suelo, por lo cual existe correlación directa entre estas dos variables. El efecto de la escorrentía es mayor cuando el suelo se encuentra descubierto, generando erosión y disminución en la fertilidad, por lo contrario cuando el suelo presenta vegetación, el efecto de la escorrentía disminuye porque las plantas actúan como barreras y las raíces absorben el agua.

6.4. ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AGUA DE ESCORRENTÍA

6.4.1. CONDUCTIVIDAD DEL AGUA DE ESCORRENTÍA

La tabla 8 muestra los valores promedio de cada mes de la conductividad del agua de escorrentía para cada tratamiento.

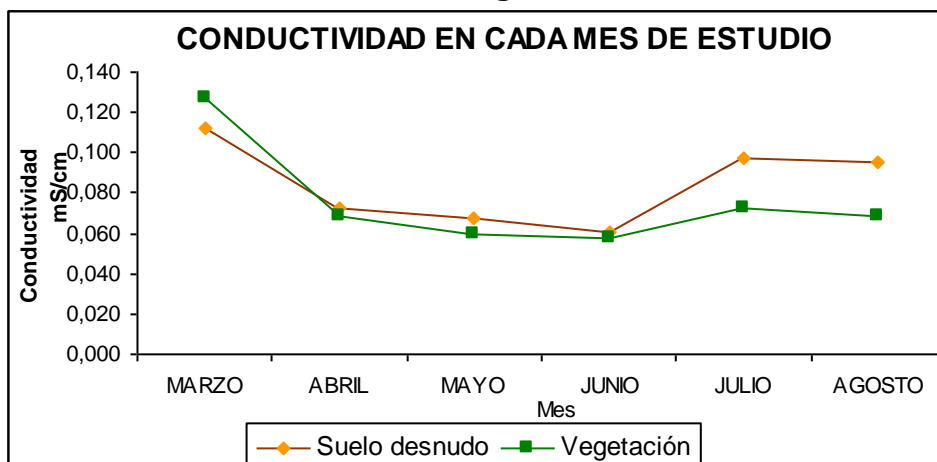
Tanto en el suelo desnudo como con vegetación al inicio del estudio presentaron valores altos de conductividad (0.112mS/cm. y 0.127mS/cm. respectivamente), pero en el tratamiento con vegetación en proceso de sucesión natural a medida que ésta crecía los valores fueron disminuyendo, en junio en este tratamiento se presentó el menor valor con 0.058mS/cm, en el cual hubo menos precipitación, aunque los meses de julio (0.073mS/cm.) y agosto (0.069mS/cm.) registraron un pequeño incremento a causa del aumento de la precipitación (Gráfico 8).

En el tratamiento con suelo desnudo el menor valor de conductividad del agua de escorrentía fue en el mes de junio con 0.060mS/cm.

Tabla 8. Promedio de conductividad de cada mes de estudio

| Mes | Conductividad mS/cm | |
|------------|----------------------------|-----------------------------|
| | Suelo desnudo | Suelo con vegetación |
| MARZO | 0,112 | 0,127 |
| ABRIL | 0,072 | 0,068 |
| MAYO | 0,068 | 0,059 |
| JUNIO | 0,060 | 0,058 |
| JULIO | 0,097 | 0,073 |
| AGOSTO | 0,095 | 0,069 |

Gráfico 8. Conductividad de agua de escorrentía mensual.



6.4.1.1. Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para conductividad del agua de escorrentía

Los datos de conductividad del agua de escorrentía no se acomodan a la distribución normal de Shapiro-Wilk, por lo tanto se emplearon las pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney y Friedman. Se utilizó como variable independiente el tratamiento, él cual posee dos niveles uno con suelo desnudo y otro con suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, cada uno con tres repeticiones y como variable independiente los promedios mensuales de conductividad.

6.4.1.2. Prueba de U de Mann-Whitney

Tabla 9. Prueba de U de Mann-Whitney para conductividad del agua de escorrentía.

Estadísticos de contraste^b

| | CONDUCTIVIDAD |
|---------------------------|---------------|
| U de Mann-Whitney | 115,000 |
| W de Wilcoxon | 286,000 |
| Z | -1,489 |
| Sig. asintót. (bilateral) | ,137 |

^b Variable de agrupación: TRATAMIENTO

La prueba reportó que los dos tratamientos de suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural no eran diferentes significativamente ($p:0,137$), indicando que esta variable se comporta de manera semejante en los dos tratamientos (tabla 9). Los valores más altos de conductividad se presentaron al inicio del período de estudio (tabla 8), donde se inicio la época de lluvia, a través de la cual se transportan iones por el lavado del suelo.

6.4.1.3. Prueba de Friedman

Tabla 10. Prueba de Friedman para conductividad del agua de esorrentía.

| Estadísticos de contraste ^a | | |
|--|---------------|----------------------|
| | SUELO DESNUDO | SUELO CON VEGETACIÓN |
| N | 3 | 3 |
| Chi-cuadrado | 13,476 | 14,515 |
| Gl | 5 | 5 |
| Sig. asintót. | ,019 | ,013 |

a Prueba de Friedman

Según la prueba de Friedman la conductividad tanto en le suelo desnudo ($p: 0,019$) como el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural ($p: 0.013$) varió durante el transcurso del estudio (tabla 10).

6.4.2. pH del agua de esorrentía

La tabla 11 presenta los promedios registrados en cada parcela, con estos valores se realizaron los promedios mensuales de cada tratamiento con suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural. Los valores de pH tienden a ser neutros. En el tratamiento con suelo desnudo el menor valor de pH fue de 6,51 y el mayor valor fue de 7,18 y en el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural el mínimo valor de pH fue de 6,71 y el máximo de 7,28.

Tabla 11. pH del agua de escorrentía

| Mes | Suelo desnudo | Suelo con vegetación |
|------------|----------------------|-----------------------------|
| MARZO | 6,51 | 6,71 |
| ABRIL | 7,13 | 7,13 |
| MAYO | 7,17 | 7,28 |
| JUNIO | 7,18 | 7,17 |
| JULIO | 7,04 | 7,08 |
| AGOSTO | 6,53 | 6,87 |

6.4.2.1. Diseño con medidas repetidas para el pH del agua de escorrentía

Según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk los datos de pH del agua de escorrentía se acomodan a la distribución normal, por lo tanto se aplicará la prueba paramétrica de diseño con medidas repetidas, donde el factor inter-sujeto o variable independiente, corresponde al tratamiento con suelo desnudo y suelo con vegetación, cada uno con tres repeticiones y la variable intra-sujeto o variable dependiente, son los valores de pH del agua de escorrentía mensuales de cada parcela (seis meses: repeticiones temporales).

Tabla 12. Diseño con medidas repetidas para el pH del agua de escorrentía

Pruebas de efectos intra-sujetos.

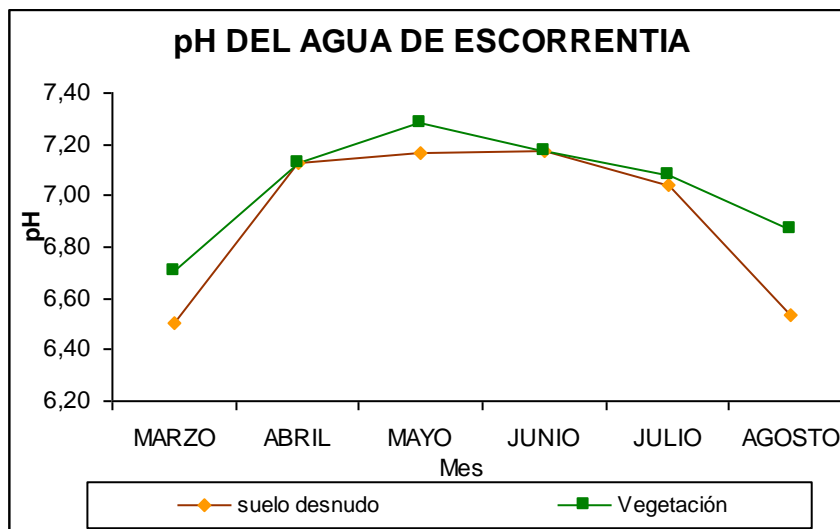
| Fuente | gl | F | sig |
|---------------|-----------|----------|------------|
| Ph | 5 | 65,131 | 0,000 |
| Tratamiento | 1 | 8,782 | 0,041 |
| pH*Tto | 5 | 4,209 | 0,009 |

El diseño con medidas repetidas reportó un nivel de significancia de $p:0,000$, $F:65,131$ para la variación del pH del agua de escorrentía en el tiempo de tratamiento, por lo tanto se puede afirmar que el pH del agua de escorrentía varió durante los seis meses de estudio.

En cuanto al tratamiento fue significativo ($p:0.041$, $F:8,782$), indicando que el pH en el agua de escorrentía es diferente para el tratamiento de suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural.

Se presentó interacción entre el tratamiento y el pH del agua de escorrentía ($p:0.009$, $F:4,209$). Con el transcurso del tiempo el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural fue el mejor en mantener la estabilidad del pH en el agua de escorrentía porque las plantas protegen el suelo. (Gráfico 9)

Gráfico 9. pH del agua de escorrentía



Los valores de pH en el agua de escorrentía para el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural fueron menores porque las plantas protegen el suelo y reducen el lavado de iones.

6.5. ANÁLISIS DE NUTRIENTES ARRASTRADOS POR EL AGUA DE ESCORRENTÍA

6.5.1. Fosfatos P- PO_4^{3-} en el agua de escorrentía

La cantidad de fosfatos arrastrados por el agua de escorrentía que se reportan en la tabla 13 corresponden a los promedios de las repeticiones de cada tratamiento y a su sumatoria para obtener el total mensual.

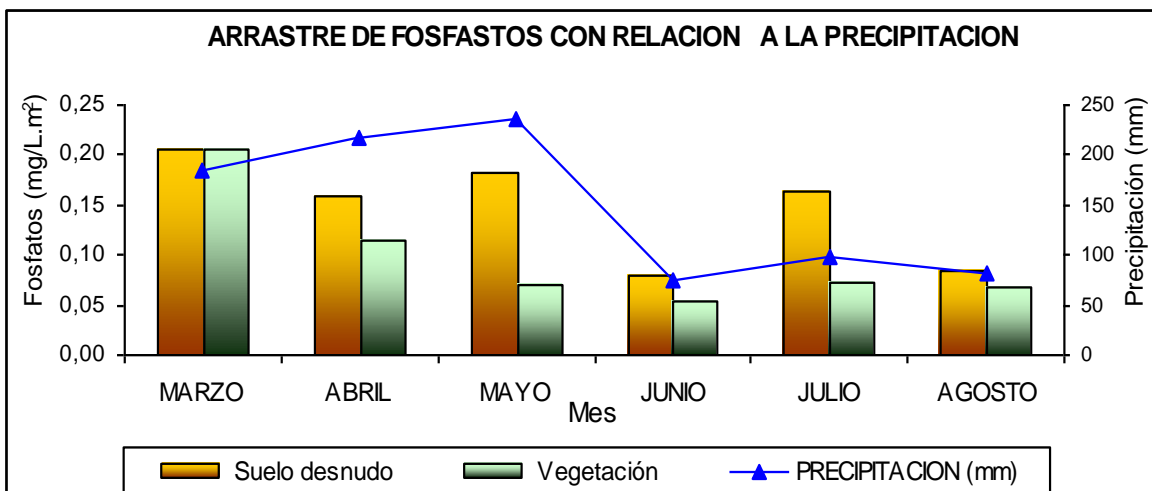
En el tratamiento con suelo desnudo el mes con la menor cantidad de fosfatos arrastrados fue junio (0,0800mg/L) y el mes con mayor cantidad corresponde a marzo (0,2067mg/L), mientras que en el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural la menor cantidad de fosfatos arrastrados se reportó en el mes de junio (0.0533 mg/L) y el valor más alto en el mes de marzo (0,2067mg/L).

Tabla 13. Fosfatos arrastrados por el agua de escorrentía

| Mes | FOSFATOS P- PO ₄ ³⁻ (mg./L) | |
|--------|---|----------------------|
| | Suelo desnudo | Suelo con Vegetación |
| MARZO | 0,2067 | 0,2067 |
| ABRIL | 0,1600 | 0,1133 |
| MAYO | 0,1833 | 0,0700 |
| JUNIO | 0,0800 | 0,0533 |
| JULIO | 0,1633 | 0,0733 |
| AGOSTO | 0,0833 | 0,0667 |
| TOTAL | 0,8767 | 0,5833 |

En el mes de marzo se obtuvieron las mayores cantidades de fosfatos arrastrados debido a que en esta época comenzó el período de lluvia y el suelo en ambos tratamientos se encontraba descubierto, en el tratamiento con vegetación las cantidades fueron disminuyendo a medida que la cobertura iba creciendo, aun cuando la precipitación fue alta (mayo: 2.631mm), pero en el suelo desnudo la cantidad de fosfatos arrastrados se incrementaba a medida que la precipitación aumentaba. En ambos tratamientos la cantidad de fosfatos arrastrados decrecieron hasta junio, debido a que la precipitación disminuyó y con ella los volúmenes de escorrentía generando una disgregación de las partículas de suelo secas, estas partículas en el mes de julio fueron arrastradas por el agua de escorrentía porque las precipitaciones aumentaron, incrementando así la cantidad de este nutriente arrastrado (Gráfico 10).

Gráfico 10. Arrastre de fosfatos con relación a la precipitación



6.5.1.1. Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para fosfatos arrastrados en el agua de escorrentía

La prueba de Shapiro-Wilk demostró que los datos de fosfatos arrastrados por el agua de escorrentía no se acomodan a la distribución normal, por lo tanto se les aplicó pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney y Friedman. Como variable independiente se utilizó el tratamiento, el cual posee dos niveles uno con suelo desnudo y otro con suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, cada uno con tres repeticiones y como variable dependiente los promedios mensuales de fosfatos de cada parcela.

6.5.1.2. Prueba de U de Mann-Whitney

Tabla 14. Prueba de U de Mann-Whitney para fosfatos arrastrado por el agua de escorrentía.

Estadísticos de contraste^b

| | FOSFATOS P-PO₄³⁻ |
|---------------------------|---|
| U de Mann-Whitney | 84,000 |
| W de Wilcoxon | 255,000 |
| Z | -2,475 |
| Sig. asintót. (bilateral) | ,013 |

b Variable de agrupación: TRATAMIENTO

La prueba reportó que para esta variable los dos tratamientos de suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural eran diferentes significativamente (p:0,013), (Gráfico 12). El tratamiento con cobertura vegetal retiene los fosfatos evitando su arrastre.

6.5.1.3. Prueba de Friedman

Tabla 15. Prueba de Friedman para fosfatos arrastrados por el agua de escorrentía.

Estadísticos de contraste^a

| | Suelo desnudo | Suelo con vegetación |
|---------------|----------------------|-----------------------------|
| N | 3 | 3 |
| Chi-cuadrado | 11,912 | 11,262 |
| GI | 5 | 5 |
| Sig. asintót. | ,036 | ,046 |

a Prueba de Friedman

La prueba de Friedman para fosfatos arrastrados indicó que tanto en el suelo desnudo ($p: 0,036$) como el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural ($p: 0,046$) varió durante los seis meses del estudio (tabla 15).

La cantidad total de fosfatos arrastrados para el tratamiento con suelo desnudo fue $0,8767 \text{ mg/L}$ y para el suelo con cobertura vegetal fue $0,5833 \text{ mg/L}$ (tabla 13), los resultados obtenidos en esta investigación se pueden comparar con el estudio realizado por Muñoz, (2006) donde obtuvo valores de arrastre de fosfatos en menor cantidad ($0,0396 \text{ mg/Lm}^2$ y $0,0386 \text{ mg/Lm}^2$ para suelo desnudo y con vegetación respectivamente) debido a que la disponibilidad de fosfatos se incrementó con la adición de cal.

Cuando se aplica cal adecuadamente se logra un pH óptimo, reduce la toxicidad de aluminio y otros metales, mejora las condiciones físicas del suelo, estimula la actividad microbiana en el suelo, incrementa la disponibilidad de fósforo, proporciona calcio y magnesio, mejora la fijación simbiótica de nitrógeno.

El fósforo a menudo aparece como un nutriente limitante, no es posible capturarlo biológicamente desde el aire, como ocurre con el nitrógeno, la mayor parte de él se encuentra en condiciones no disponibles para las plantas o microorganismos. El Soil Survey Staff, 1992, determinó que materiales de suelo con propiedades ándicas (andisoles) deben tener una retención de fosfatos superior a 85%, para reducir este problema propone prácticas como el encalado.

Un adecuado manejo de fertilidad de suelos hace indispensable aumentar al máximo la eficiencia de su utilización, la que no depende de mayores tasas de aplicación de fertilizantes, sino de fomentar procesos de reciclaje y de solubilización del fósforo en el suelo.

El fósforo disponible depende de los coloides y minerales presentes en el suelo (Al, Fe y Mn), el pH, la actividad microbiológica, la presencia de enzimas, ácidos orgánicos y la intensidad de la demanda del nutriente.

En suelos ácidos, existe en solución hierro, aluminio y magnesio que reaccionan con el ácido fosfórico dando fosfatos hidróxidos insolubles. Hay fijación por los óxidos hidróxidos formando fosfatos hidróxidos insolubles. La máxima disponibilidad del fósforo ocurre para pH entre 6 y 7, que es la situación en la que se puede presentar cierto riesgo de lixiviación, además la absorción de nitrógeno ayuda a mantener una condición ácida en la superficie de la raíz, mejorando de

esta forma la absorción de fósforo. Ahora bien de nada serviría su presencia si no puede ser asimilado, y éste problema se resuelve por la acción de ciertos microorganismos que son capaces de liberarlo y por la presencia de vegetación que con sus raíces lo absorben.

6.5.2. Nitrato arrastrado por el agua de escorrentía

En la tabla 16 se reporta la cantidad de nitrato arrastrado por el agua de escorrentía, los valores se obtuvieron calculando los promedios de las repeticiones de cada tratamiento y luego se sumaron para obtener el total mensual.

Junio con 0,833mg/L fue el mes que presentó la menor cantidad de nitrato arrastrado por el agua de escorrentía y marzo con 5,800mg/L fue el mes más alto, en el tratamiento con suelo desnudo y en el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural el mes con la menor cantidad de nitrato arrastrado corresponde al mes de junio con 0,600mg/L y el mes con la cantidad más alta fue marzo con 5,767mg/L.

Tabla 16. Nitrato arrastrado por el agua de escorrentía

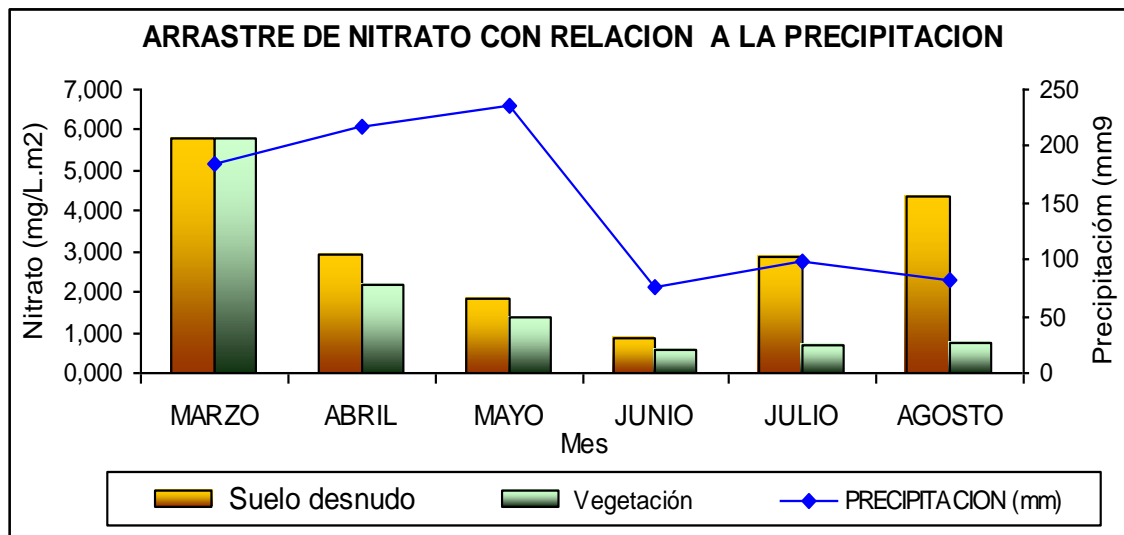
| Mes | NITRATO N-NO ₃ ⁻ (mg/L) | |
|--------|---|----------------------|
| | Suelo desnudo | Suelo con Vegetación |
| MARZO | 5,800 | 5,767 |
| ABRIL | 2,933 | 2,167 |
| MAYO | 1,833 | 1,400 |
| JUNIO | 0,833 | 0,600 |
| JULIO | 2,850 | 0,667 |
| AGOSTO | 1,333 | 0,233 |
| TOTAL | 15,583 | 10,835 |

Al inicio del estudio las parcelas de los dos tratamientos se encontraban descubiertas, además en esta época comenzó la temporada de lluvia, estos factores contribuyeron a que la cantidad de nitrato fuera mayor. En el tratamiento con suelo desnudo la cantidad de nitrato arrastrado en los dos últimos meses se incremento, porque el aumento de la temperatura influye en el ciclo del nitrógeno

transformando el amonio en nitrito y este en nitrato, comparando los resultado de este tratamiento con el de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural la cantidad de nitrato arrastrado fue menor. (Grafico 11).

En ambos tratamientos la cantidad de nitrato arrastrado decreció hasta junio, debido a que la precipitación disminuyo y con ella los volúmenes de escorrentía, lo que causo que las partículas de suelo secas empezaron a disgregarse, pero en julio se presento un incremento, porque las precipitaciones aumentaron arrastrando en el agua de escorrentía todos los nutrientes y las partículas sueltas de los meses inmediatamente anteriores de menor precipitación (Gráfico 11).

Gráfico 11. Arrastre de nitrato con relación a la precipitación



6.5.2.1. Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para el nitrato arrastrado en el agua de escorrentía

Los datos de nitrato arrastrado por el agua de escorrentía según la prueba de Shapiro-Wilk no se acomodan a la distribución normal, por lo tanto se les aplicó pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney y Friedman. Como variable independiente se utilizó el tratamiento, él cual posee dos niveles uno con suelo desnudo y otro con suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, cada uno con tres repeticiones y como variable dependiente los promedios mensuales de nitrato de cada parcela.

6.5.2.2. Prueba de U de Mann-Whitney

Tabla 17. Prueba de U de Mann-Whitney para nitrato arrastrado por el agua de escorrentía.

| Estadísticos de contraste ^b | |
|--|---|
| | NITRATOS N-NO ₃ ⁻ |
| U de Mann-Whitney | 86,500 |
| W de Wilcoxon | 257,500 |
| Z | -2,392 |
| Sig. asintót. (bilateral) | ,017 |

b Variable de agrupación: TRATAMIENTO

Los tratamientos de suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural según la prueba de U de Mann-Whitney para esta variable eran diferentes significativamente ($p:0,017$), (Gráfico 12). El tratamiento con cobertura vegetal retiene el nitrato evitando su arrastre.

6.5.2.3. Prueba de Friedman

Tabla 18. Prueba de Friedman para nitrato arrastrado por el agua de escorrentía.

| Estadísticos de contraste ^a | | |
|--|---------------|----------------------|
| | SUELO DESNUDO | SUELO CON VEGETACIÓN |
| N | 3 | 3 |
| Chi-cuadrado | 12,714 | 13,462 |
| gl | 5 | 5 |
| Sig. asintót. | ,026 | ,019 |

a Prueba de Friedman

Según la prueba de Friedman para nitrato arrastrado reportó que tanto en el suelo desnudo ($p: 0,026$) como el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural ($p: 0.019$) varió durante los seis meses de estudio (tabla 18). En el suelo desnudo al inicio como al final de estudio fueron las cantidades de nitrato arrastradas fueron altas, pero en el tratamiento que poseía vegetación a medida que esta crecía la cantidad de nitrato arrastrado fue decreciendo.

El total de nitratos arrastrado por el agua de escorrentía en el suelo desnudo fue de 18,583mg/L y en el suelo con vegetación fue de 11,33mg/L (tabla 16) Al comparar estos resultados con los obtenidos por Muñoz, (2006) en su estudio sobre arrastre de nitrato fueron altos (suelo desnudo: 18,583mg/L.m² y suelo con

vegetación: 11,33mg/L.) porque al igual que lo ocurrido con el arrastre de fosfatos, la cal mejora la fijación simbiótica de nitrógeno.

El nitrógeno es el nutriente requerido en mayor cantidad. Se encuentra en distintas formas en el suelo pero solo puede ser absorbido por las plantas y microorganismos como urea, NO_3^- y NH_4^+ . Gracias a que la solubilidad de los compuestos nitrogenados es alta, su disponibilidad para las plantas y microorganismos normalmente también es alta, siempre y cuando el estado de oxidación sea el adecuado. La estrategia central para mantener el nitrógeno disponible no consiste en agregar grandes cantidad de este elemento, sino en optimizar el balance de nitrógeno en el suelo, lo que hace necesario, maximizar las entradas y minimizar las salidas de éste elemento mineral.

Una primera medida de optimización es la fijación biológica del nitrógeno, realizada por los microorganismos del suelo y leguminosas. Las pérdidas de nitrógeno en el suelo se dan principalmente por lixiviación, volatilización, cosecha y erosión. Para minimizar la lixiviación y volatilización, es importante considerar que el nitrógeno es un elemento de alta movilidad, por lo que debe ser adherido al suelo, un mecanismo directo que logra este objetivo es la absorción por parte de plantas y microorganismos del suelo. Se debe tener en cuenta que el mayor reservorio de nitrógeno en el suelo se encuentra en los microorganismos que lo habitan.

Se reduce la pérdida de nitrógeno mejorando la estabilidad ambiental, siendo necesario disminuir la labranza y evitar los altos volúmenes de escorrentía. Las salidas de nitrógeno en la cosecha son inevitables, pueden ser reducidas en gran medida mediante el reciclaje de los desechos vegetales y animales.

Dada la elevada solubilidad de los nitratos es muy importante que su formación se produzca en presencia de plantas o microorganismos para que sea absorbido y no sea lavado.

6.5.3. Calcio arrastrado por el agua de escorrentía

En la tabla 19 se encuentran los valores de calcio arrastrado por agua de escorrentía los cuales se obtuvieron realizando los cálculos de los promedios de las tres repeticiones de cada tratamiento y su respectiva sumatoria para adquirir los valores mensuales.

La menor cantidad de calcio arrastrado fue de 20,33mg/L que corresponde al mes de junio y la mayor cantidad corresponde a marzo con 122,67mg/L, para el tratamiento con suelo desnudo y para el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural la menor cantidad de calcio arrastrado se presentó en el mes de junio con 13,33mg/L y el valor más alto se reportó en el mes de marzo con 126,6mg/L.

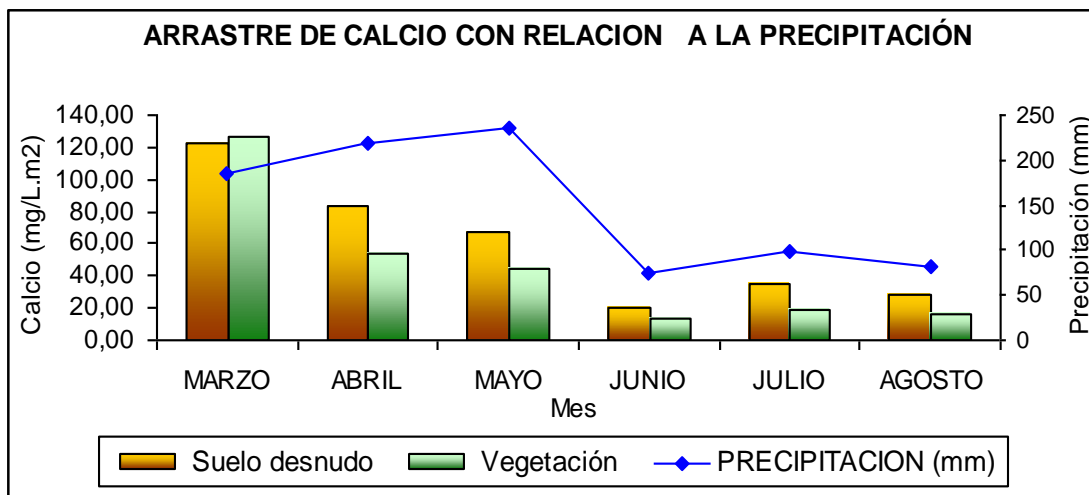
El calcio es fácilmente removido por lixiviación y erosión. Normalmente es el catión que se pierde del suelo en cantidades más elevadas, en zonas templadas puede variar entre 200 y 300 Kg/ha/año. Estas grandes pérdidas son la principal causa de acidificación de los suelos, según Melo y otros (1987), citado por Montenegro G. H. (1995)

Tabla 19. Calcio arrastrado por el agua de escorrentía

| Mes | CALCIO (mg/L) | |
|--------|---------------|----------------------|
| | Suelo desnudo | Suelo con Vegetación |
| MARZO | 122,67 | 126,67 |
| ABRIL | 84,00 | 53,33 |
| MAYO | 67,33 | 45,00 |
| JUNIO | 20,33 | 13,33 |
| JULIO | 35,33 | 18,33 |
| AGOSTO | 28,67 | 16,33 |
| TOTAL | 358,33 | 273,00 |

Las mayores cantidades de calcio arrastrado se registraron en el mes de marzo, los factores que contribuyeron a que se presenten estos valores fueron el inicio de la temporada de lluvia y que el suelo se encontraba descubierto. En el tratamiento con vegetación las cantidades arrastradas de este nutriente fueron disminuyendo a medida que la cobertura iba cubriendo las parcelas, pero en las parcelas asignadas con el tratamiento de suelo desnudo la cantidad de calcio arrastrado dependía de la precipitación y de los niveles de escorrentía. Hasta junio la cantidad de calcio arrastrado en ambos tratamientos disminuyó, por efecto de la reducción de las precipitaciones y con ella los volúmenes de escorrentía, lo que a la vez generó que las partículas de suelo secas se disgregaran y fueran arrastradas por las lluvias más intensas del mes de julio presentándose un incremento en el arrastre de calcio por el agua de escorrentía (Gráfico 12).

Gráfico 12. Arrastre de calcio con relación a la precipitación.



6.5.3.1. Diseño con medidas repetidas para calcio arrastrado por el agua de escorrentía

Según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk los datos de calcio arrastrado por el agua de escorrentía se acomodan a la distribución normal, por lo tanto se aplicará la prueba paramétrica de diseño con medidas repetidas, donde el factor inter-sujeto o variable independiente, corresponde al tratamiento con suelo desnudo y suelo con vegetación, cada uno con tres repeticiones y la variable intra-sujeto o variable dependiente, son los valores de calcio arrastrado por el agua de escorrentía mensuales de cada parcela (seis meses: repeticiones temporales).

Tabla 20 Diseño con medidas repetidas para calcio arrastrado por el agua de escorrentía.

Pruebas de efectos intra-sujetos.

| Fuente | gl | F | sig |
|-------------|----|---------|-------|
| Calcio | 5 | 157,081 | 0,000 |
| Tratamiento | 1 | 15,953 | 0,016 |
| Calcio*Tto | 5 | 3,456 | 0,021 |

El diseño con medidas repetidas reportó un nivel de significancia de $p:0,000$, $F:65,131$ para la variación de las cantidades de calcio arrastrado por el agua de escorrentía en el tiempo de tratamiento, por lo tanto se puede afirmar que sobre esta variable influyó el tiempo y las cantidades de este nutriente arrastrado cambiaron en el transcurso de los meses de estudio.

En cuanto al tratamiento fue significativo ($p:0.016$, $F:15,953$), indicando que en los valores de calcio arrastrado por el agua de escorrentía son diferentes para el tratamiento de suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural.

Se presentó interacción entre el tratamiento y la cantidad de calcio arrastrado por el agua de escorrentía ($p:0.021$, $F:3,456$). Con el transcurso del tiempo el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural fue el mejor en la retención de calcio, reduciendo su arrastre a medida que las plantas crecían (Grafico 12)

Con la adición inicial de cal se proporcionó calcio y magnesio para las plantas, a la vez se contribuyó a aumentar el pH. El calcio mejora la estructura del suelo y es absorbido por las plantas a través de la intercepción radical en forma del catión Ca^{+2} , pero se debe tener en cuenta que su exceso puede producir deficiencias de magnesio o potasio

El calcio en las plantas, aumenta la utilización de nitrato, fomenta el desarrollo de las raíces, ayudando a la fijación simbiótica del nitrógeno.

El calcio es un importante factor regulador del dióxido de carbono del aire del suelo, una pequeña parte de dióxido de carbono puede permanecer en solución, en donde en presencia de calcio forma bicarbonato cálcico soluble que puede desplazarse a través del suelo y acumularse en los horizontes profundos o abandonarlo, en cuyo caso se produce una pérdida de calcio y una acidificación del medio, esto sucede en climas muy húmedos, como los nuestros que a mayor precipitación hay menor contenido de calcio en el suelo.

Con fuertes precipitaciones y altos niveles de escorrentía se tiende a acidificar el suelo y a desaturarlo, al intercambiar los hidrogeniones del agua de lluvia por los cationes de Ca^{++} , Mg^{++} , K^{+} , Na^{+} , especialmente en suelos descubiertos, donde no existe vegetación para que retenga el agua y absorba estos cationes.

6.5.4. Problema del arrastre de nutrientes

El problema ambiental que trae tanto el arrastre de nitrógeno, fósforo, calcio y otros nutrientes, es su acumulación en el subsuelo que por lixiviación, pueden incorporarse a las aguas subterráneas o bien ser arrastrados hacia los cauces y

reservorios superficiales. En los ecosistemas acuáticos estos nutrientes actúan como fertilizantes de la vegetación acuática, de tal manera que, si se concentran, puede originar la eutrofización del medio.

Además el arrastre de nutrientes disminuye la fertilidad del suelo, esta fertilidad no sólo depende de la presencia de nutrientes en el suelo, sino también de su disponibilidad para las plantas, de la capacidad del perfil en el suelo para almacenar y entregar agua, de la existencia de un espacio físico para el crecimiento de las raíces y de la ausencia de procesos de destrucción de lo que haya logrado crecer en él. La fertilidad del suelo tiene, por lo tanto, componentes químicos, componentes físicos y componentes biológicos, por lo que todo manejo adecuado debe considerar mecanismos de optimización de estos tres tipos de componentes en forma interdependiente.

6.6. ANÁLISIS INICIALES Y FINALES DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL SUELO.

6.6.1. TEXTURA

Tabla 21. Textura

| TTO | % DE ARENA | | % DE ARCILLA | | % DE LIMO | | TEXTURA | |
|----------------------|------------|-------|--------------|-------|-----------|-------|----------------|----------------|
| | INICIO | FIN | INICIO | FIN | INICIO | FIN | INICIO | FIN |
| Suelo desnudo | 79,48 | 86.53 | 10.55 | 10.48 | 9.97 | 2.99 | Franco arenoso | Franco arenoso |
| Suelo con vegetación | 78.30 | 84.44 | 6,04 | 4.53 | 15.66 | 11.04 | Franco arenoso | Franco arenoso |

La textura en ambos tratamientos, al inicio y al final del estudio predominó un mayor porcentaje de arena, y según la clasificación desarrollada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica y de acuerdo a lo establecido por la Taxonomía de Suelos para las Familias de Suelos, (1975) se determinó que la textura del suelo es franco arenosa, al igual que la encontrada por Muñoz, (2006) en su estudio sobre arrastre de nutrientes y la reportada por la Secretaría de Agricultura y Ganadería del Cauca, Laboratorio de Suelo, (2006), en el análisis del suelo del Jardín Botánico Álvaro José Negret.

Aunque la textura fue igual al inicio y la final en el suelo desnudo el porcentaje de arena se incrementó al final del estudio y se redujo el porcentaje de limo. En el suelo con vegetación también se aumentó el porcentaje de arena, pero se redujo el porcentaje de arcilla y limo, estos cambios en los porcentajes se debe a que la erosión eólica y la erosión hídrica pueden inducir cambios en la textura del suelo por remoción de las partículas finas que deja en el suelo superficial un mayor

porcentaje de partículas gruesas, como arenas y fragmentos de rocas, también los porcentajes pudieron ser modificados por la labranza inicial de la capa superficial y por el desarrollo de una nueva superficie.

Al comparar los porcentajes obtenidos con los reportados por Montenegro, G.H. (1991) para la textura mejor balanceada que corresponde a los suelos francos (arcilla entre 10-25%, limo entre 28-50% y arena entre 50-65%), donde se presenta una tendencia uniforme a la retención de agua y oxígeno y en la difusión de gases, de tal forma que las plantas no son afectadas, ni limitadas en sus funciones fisiológicas, se puede observar que hay mayor porcentaje de arena (79,48 - 84.44%), que de arcilla (4.53 - 10.55%) y limo (2.99 - 15.66%), esto puede afectar el contenido de potasio, calcio, magnesio y fosfatos, porque entre mayor fracción arenosa, menor será el contenido de estos nutrientes.

Los suelos de textura franco-arenosa presentan en general menos materia orgánica y nitrógeno, en comparación con los suelos de textura fina, ello puede deberse a una mayor oxidación en los medios de textura gruesa, Montenegro, G.H. (1991). Esta textura le da al suelo una elevada porosidad, un alto drenaje, una baja capacidad de retención de agua (tabla 25). El porcentaje de arcillas es algo bajo y la estructura del suelo no va a ser estable, las arcillas favorecen la formación de agregados, pero por su bajo contenido en esta formación no se ve favorecida.

El alto porcentaje de arena hace al suelo muy susceptible de erosión hídrica. La infiltración del agua, impide que se produzca encharcamiento en la superficie o en los horizontes internos, generan lavado de nutrientes al percolar el agua fácilmente y no quedar retenida. Los nutrientes van a la capa freática y no están disponibles para las plantas. Este excesivo lavado del suelo y arrastre de nutrientes provoca baja fertilidad, unos valores de pH bajos, generando suelos ácidos (tabla 11).

6.6.2. DENSIDAD APARENTE

Los datos de los promedios de densidad aparente registrados a diferentes profundidades al inicio y final del estudio del tratamiento con suelo desnudo y el tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural se reportan en la tabla 22.

En el suelo desnudo los valores promedios de densidad aparente fueron semejantes tanto al inicio como al final del estudio, mientras que en el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural disminuyó al final de la investigación, por efecto del crecimiento de las raíces de las plantas que abren espacios a través de la tierra generando orificios y descompactando el suelo lo cual reduce la densidad de los agregados, los organismos presentes también contribuyen con esta función, lo que no ocurre en el suelo desnudo .

Tabla 22. Promedio de densidad aparente a diferentes profundidades.

| PROFUNDIDAD (cm.) | DENSIDAD APARENTE (g/cm ³) | | | |
|----------------------|--|-------------------------|------------------|-------------------------|
| | INICIAL | | FINAL | |
| | SUELO DESNUDO | SUELO CON VEGETACIÓN | SUELO DESNUDO | SUELO CON VEGETACIÓN |
| 0-5 | 0,613 | 0,641 | 0,626 | 0,599 |
| 5-10 | 0,578 | 0,634 | 0,587 | 0,566 |
| 10 – 15 | 0,558 | 0,632 | 0,581 | 0,585 |

La prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los datos de densidad aparente reportó que se acomodan a la distribución normal, por lo tanto se aplicó la prueba paramétrica de modelo lineal general univariante, donde la variable dependiente corresponde a los datos de densidad aparente y las variables independientes fueron profundidad, estudio inicial y final, tratamiento con dos niveles, suelo desnudo y suelo con vegetación, cada uno con tres repeticiones.

Tabla 23. Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: DENSIDAD APARENTE

| Fuente | Suma de cuadrados tipo III | GI | Media cuadrática | F | Sig |
|--------------------------------|----------------------------|----|------------------|----------|------|
| Modelo corregido | ,027(a) | 11 | ,002 | ,733 | ,698 |
| Intersección | 12,958 | 1 | 12,958 | 3937,450 | ,000 |
| Profundidad | ,007 | 2 | ,003 | 1,060 | ,362 |
| TTO | ,003 | 1 | ,003 | 1,022 | ,322 |
| Inicio/fin | ,003 | 1 | ,003 | ,942 | ,342 |
| Profundidad* TTO | ,002 | 2 | ,001 | ,330 | ,722 |
| Profundidad*Inicio/fin | ,001 | 2 | ,000 | ,086 | ,917 |
| TTO * Inicio/fin | ,010 | 1 | ,010 | 3,079 | ,092 |
| Profundidad * TTO * Inicio/fin | ,000 | 2 | ,000 | ,034 | ,967 |
| Error | ,079 | 24 | ,003 | | |
| Total | 13,063 | 36 | | | |
| Total corregida | ,106 | 35 | | | |

a R cuadrado = ,251 (R cuadrado corregida = -,092)

El análisis de varianza univariante para densidad aparente reportó que no hay diferencia significativa entre los tratamientos (gl:1, F: 1,022 ,p: 0,362), entre las profundidades (gl:2, F: 1,060 ,p:0,362), entre el estudio inicial y final (gl:1, F: 0,942, p: 0,342), ni entre ninguna de las interacciones posibles. (tabla 23)

Los valores de densidad aparente se encuentran entre 0,558 g/cm³ y 0,641g/cm³, similares a los reportados por Muñoz (2006); en su estudio sobre arrastre de nutrientes, donde encontró densidades aparentes entre 0,5327g/cm³ y 0.589g/cm³. Estos valores son bajos indicando un suelo muy poroso (tabla 25), con poca compactación, lo que permite una buena circulación de agua y aire, característicos de suelos derivados de cenizas volcánicas.

Si se presenta un aumento significativo de la densidad aparente se genera pérdida de estructura, degradación física, disminución de la porosidad, que origina una reducción del drenaje y una pérdida de la estabilidad como consecuencia se produce un encostramiento superficial y por tanto aumenta la escorrentía.

6.6.3. DENSIDAD REAL

La tabla 24 indica los valores de densidad real de los tratamientos de suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, tomados al inicio y final del estudio.

Tabla 24. Densidad real

| TRATAMIENTO | DENSIDAD REAL (g/cm ³) | |
|----------------------|------------------------------------|-------|
| | INICIAL | FINAL |
| SUELO DESNUDO | 2,203 | 2,199 |
| SUELO CON VEGETACIÓN | 2,287 | 2,217 |

En ambos tratamientos los valores iniciales de densidad real fueron similares, 2,203g/cm³ y 2,287g/cm³ para suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural respectivamente. Al final del estudio se presentó una leve disminución de estos valores, 2,217 g/cm³ para suelo con cobertura vegetal y 2,199g/cm³ para suelo desnudo. Estos valores tienden a ser bajos, aunque se los pueden catalogar como normales, valores similares encontró Muñoz (2006) en su estudio sobre arrastre de nutrientes con un intervalo de 2,309 a 2,510g/cm³.

6.6.4. POROSIDAD TOTAL

La tabla 25 presenta los datos de los promedios de porosidad total a diferentes profundidades del tratamiento con suelo desnudo y tratamiento con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural al inicio y final del estudio.

Los porcentajes de porosidad total tomados a diferentes profundidades fueron semejantes tanto al inicio como al final del estudio, pero en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural al finalizar el estudio hubo un leve incremento en todas las profundidades. (tabla 25).

Tabla 25. Porosidad total

| PROFUNDIDAD (cm.) | POROSIDAD TOTAL (%) | | | |
|-------------------|---------------------|------------|---------------|------------|
| | INICIAL | | FINAL | |
| | SUELO DESNUDO | VEGETACIÓN | SUELO DESNUDO | VEGETACIÓN |
| 0-5 | 72,169 | 71,976 | 71,550 | 72,493 |
| 0 – 10 | 73,789 | 72,244 | 73,309 | 74,449 |
| 10 – 15 | 74,697 | 72,363 | 73,568 | 73,617 |

Según la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para los datos de porosidad reportó que se acomodan a la distribución normal, por lo tanto se aplicará la prueba paramétrica de modelo lineal general univariante, donde la variable dependiente corresponde a los datos de porosidad y las variables independientes fueron: estudio inicial y final, profundidad, tratamiento con suelo desnudo y suelo con vegetación, cada uno con tres repeticiones.

**Tabla 26. Análisis de varianza univariante para porosidad total.
Pruebas de los efectos inter-sujetos**

Variable dependiente: POROSIDAD TOTAL

| Fuente | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------------------------|----------------------------|----|------------------|-----------|------|
| Modelo corregido | 34,415(a) | 11 | 3,129 | ,463 | ,908 |
| Intersección | 191942,497 | 1 | 191942,497 | 28375,580 | ,000 |
| Profundidad | 17,068 | 2 | 8,534 | 1,262 | ,301 |
| TTO | ,940 | 1 | ,940 | ,139 | ,713 |
| Inicio/Fin | ,764 | 1 | ,764 | ,113 | ,740 |
| Profundidad * TTO | 3,521 | 2 | 1,761 | ,260 | ,773 |
| Profundidad* Inicio/Fin | 1,488 | 2 | ,744 | ,110 | ,896 |
| TTO * Inicio/Fin | 9,623 | 1 | 9,623 | 1,423 | ,245 |
| Profundidad* TTO * Inicio/fin | 1,011 | 2 | ,506 | ,075 | ,928 |
| Error | 162,345 | 24 | 6,764 | | |
| Total | 192139,257 | 36 | | | |
| Total corregida | 196,760 | 35 | | | |

a R cuadrado = ,175 (R cuadrado corregida = -,203)

El análisis de varianza univariante para la porosidad total reportó que los tratamientos de suelo desnudo y con cobertura vegetal no eran diferentes significativamente (gl:1, F:0,139, p:0,713), también el estudio realizado al inicio no fue diferente al final. (gl:1, F:0,113, p:0,740), y no existió una interacción entre el tratamiento y el estudio realizado al inicio y fin de la investigación (gl:1, F:1,423 p:0,245). El tratamiento no influyó en la profundidad (gl:2, F:0,260, p:0,773) (tabla 26).

Aunque no hay diferencia significativa entre los tratamientos en el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural se presentó un aumento de esta propiedad física al final del estudio, debido a que las raíces de las plantas al crecer abren espacios en el suelo y crean un hábitat adecuado para muchos organismos que perforan la tierra incrementando la porosidad.

Muñoz, (2006) en su estudio sobre arrastre de nutrientes encontró porcentajes de porosidad total entre 74,63 y 79,00, los cuales coinciden con los valores reportados en la presente investigación. La porosidad en estos suelos es alta, debido a que son suelos derivados de cenizas volcánicas, que se caracterizan por poseer buenas condiciones de aireación y de infiltración. Una alta porosidad ayuda a la respiración del suelo, al proceso de nitrificación que por ser oxidativo requiere buena tensión de oxígeno, contribuye al paso de agua, a la disponibilidad de aire para las plantas y microorganismos.

La porosidad indica que no hay problemas de compactación del suelo, pero se pueden generar problemas de rápida pérdida de agua, que además se deduce de la textura franco-arenosa, la cual posee una macroporosidad elevada (tabla 21). Estos suelos no tienen problemas de encharcamiento ni de aireación, pero hay lavado de nutrientes (tablas 13, 16 y 19).

Esta variable es inversamente proporcional a la densidad aparente la cual fue baja (tabla 22).

6.6.5. PORCENTAJE DE HUMEDAD

Los valores de humedad que se reportan en la tabla 27, corresponden a los promedios de las repeticiones de cada tratamiento al inicio y al final del estudio.

Tabla 27. Porcentaje de humedad

| TRATAMIENTO | HUMEDAD (%) | |
|---------------|-------------|--------|
| | INICIAL | FINAL |
| SUELO DESNUDO | 62,045 | 56,255 |
| VEGETACIÓN | 61,773 | 73,995 |

Al inicio del estudio los porcentajes de humedad fueron semejantes tanto en el suelo desnudo (62,045%), como en el suelo con cobertura vegetal (61,773%) debido a que comenzaron en condiciones iguales, pero al final del estudio el porcentaje de humedad en las parcelas con suelo desnudo disminuyó (56,255%) y por lo contrario en las parcelas con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural aumentó (73,995%). Sin embargo al aplicar las pruebas estadísticas que se describen a continuación no se encontró diferencia significativa (tabla 28 y 29). Estos valores de humedad total son altos ya que superan el 35% (Montenegro, G. y Malagon, C., 1990).

Este alto contenido de humedad se debe a la presencia de poros que almacenan el agua aprovechable para las plantas. Los valores más altos encontrados al final del estudio en el tratamiento con cobertura vegetal se dio por el efecto de las plantas que interceptan la lluvia, reducen la evaporación, protegen de la exposición directa al suelo de los factores climáticos, además el agua retenida la van evapotranspirando lentamente, también los suelos derivados de cenizas volcánicas se caracterizan por su alta retención de humedad que favorece los procesos de humificación y mineralización, reduciendo el volumen de agua de escorrentía (tabla 6).

6.6.5.1. Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para porcentaje de humedad en el suelo.

Los datos de humedad según la prueba de Shapiro-Wilk no se acomodan a la distribución normal, por lo tanto se les aplicó pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney y Friedman. Como variable dependiente se utilizaron los valores de porcentaje humedad de cada parcela y como variable independiente se utilizó el tratamiento, él cual posee dos niveles uno con suelo desnudo y otro con suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, cada uno con tres repeticiones.

6.6.5.1.1. Prueba de U de Mann-Whitney

Tabla 28. Prueba de U de Mann-Whitney para porcentaje de humedad del suelo.

| Estadísticos de contraste^b | |
|--|------------------|
| | % HUMEDAD |
| U de Mann-Whitney | 16,000 |
| W de Wilcoxon | 37,000 |
| Z | -0,320 |
| Sig. asintót. (bilateral) | ,749 |

b Variable de agrupación: TRATAMIENTO

La prueba de U de Mann-Whitney reporto para esta variable que el tratamiento de suelo desnudo y el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural eran iguales significativamente (p:0,749), (tabla 28).

6.6.5.1.2. Prueba de Friedman.

Tabla 29. Prueba de Friedman para porcentaje de humedad del suelo.

Estadísticos de contraste^a

| | SUELO DESNUDO | SUELO CON VEGETACIÓN |
|---------------|---------------|----------------------|
| N | 3 | 3 |
| Chi-cuadrado | ,333 | 3,000 |
| Gl | 1 | 1 |
| Sig. asintót. | ,564 | ,083 |

a Prueba de Friedman

La prueba de Friedman para porcentaje de humedad reportó que tanto en el suelo desnudo (p: 0,564) como el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural (p: 0,083) no influyó el tiempo durante los seis meses de estudio (Tabla 29).

6.6.6. CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA

Los valores de conductividad (tabla 30) del suelo corresponden al promedio de las tres repeticiones de cada uno de los tratamientos de suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, para el inicio y final del tratamiento.

Al inicio del estudio la conductividad hidráulica fue más alta en las parcelas destinadas para el tratamiento con suelo desnudo (18,787cm/h) que en las parcelas destinadas para el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural (15,2180cm/h), aunque ambos al comienzo se encontraban sin vegetación. Al final del estudio los valores conductividad hidráulica se invirtieron, en el suelo con cobertura vegetal los valores fueron más altos (19,7603cm/h) que en el suelo desnudo (19,1970cm/h), aunque las pruebas estadísticas reportaron que no existía diferencia significativa entre los tratamientos (tabla 31) y que el tiempo no influyó (tabla friedman 32).

Tabla 30. Conductividad hidráulica

| TRATAMIENTO | Conductividad hidráulica (cm/h) | |
|---------------|---------------------------------|---------|
| | INICIAL | FINAL |
| SUELO DESNUDO | 18,787 | 19,1970 |
| VEGETACIÓN | 15,2180 | 19,7603 |

6.6.6.1 Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para conductividad del suelo.

A los datos de conductividad hidráulica se les aplicó las pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney y Friedman porque no se acomodaron a la distribución normal según la prueba de Shapiro-Wilk. Como variable independiente se utilizó el tratamiento, el cual posee dos niveles uno con suelo desnudo y otro con suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, cada uno con tres repeticiones y como variable dependiente los valores de conductividad hidráulica inicial y final.

6.6.6.1.1. Prueba de U de Mann-Whitney

Tabla 31. Prueba de U de Mann-Whitney para conductividad del suelo. Estadísticos de contraste^b

| | CONDUCTIVIDAD (cm./seg.) |
|---------------------------|-----------------------------|
| U de Mann-Whitney | 15,500 |
| W de Wilcoxon | 36,500 |
| Z | -,404 |
| Sig. asintót. (bilateral) | ,686 |

Variable de agrupación: TRATAMIENTO

Al aplicar la prueba de U de Mann-Whitney para esta variable los tratamientos de suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural no presentaron diferencia significativa ($p: 0,686$), (tabla 31).

6.6.6.1.2. Prueba de Friedman

Tabla 32. Prueba de Friedman para conductividad del suelo. Estadísticos de contraste^a

| | SUELO DESNUDO | SUELO CON VEGETACIÓN |
|---------------|----------------------|-----------------------------|
| N | 3 | 3 |
| Chi-cuadrado | 0,333 | 0,333 |
| gl | 1 | 1 |
| Sig. asintót. | ,564 | 0,564 |

a Prueba de Friedman

La prueba de Friedman para los datos de conductividad reportó que tanto en el suelo desnudo (p : 0,564) como el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural (p : 0,564) no varió durante los seis meses de estudio (Tabla 32)

Muñoz (2006) obtuvo valores de conductividad hidráulica para el suelo desnudo de 18,199cm/h. y para suelo con vegetación de 19,222cm/h., al comparar estos valores con los que se presentaron en esta investigación en ambos tratamientos al inicio la conductividad fue menor que al final del estudio, pero en el tratamiento que poseía vegetación la conductividad hidráulica aumentó en mayor cantidad que en el suelo desnudo (tabla 30). Teniendo en cuenta la interpretación de los resultados de análisis físicos de los suelos de Montenegro, G. (1990) los suelos estudiados después de saturados permiten el paso del agua de moderadamente rápida a muy rápida (tabla 33),

La rápida conductividad es favorecida por la textura franco-arenosa, con su mayor porcentaje de arena (tabla 21), por su baja densidad aparente (tabla 22) y alta porosidad (tabla 25), al igual las parcelas que presentan cobertura vegetal facilita el paso del agua reduciendo la escorrentía superficial.

Tabla 33. Clasificación de la conductividad hidráulica

| Cm.h ⁻¹ | Interpretación |
|--------------------|----------------------|
| < 0.1 | Muy lenta |
| 0.1 – 0.5 | Lenta |
| 0.5 – 1.6 | Moderadamente lenta |
| 1.6 – 5.0 | Moderada |
| 5.0 – 12.0 | Moderadamente rápida |
| 12.0 – 18.0 | Rápida |
| > 18.0 | Muy rápida |

Fuente: Montenegro (1990).

6.6.7. pH

Los datos de pH iniciales y finales correspondientes a los promedios de las repeticiones de cada tratamiento se presentan en la tabla 34

El pH inicial del suelo se tomó antes de adicionar cal, siendo esta variable igual en las parcelas de ambos tratamientos (5,49), después de agregada la cal se esperó seis meses para determinar el cambio en el pH del suelo, pasado este tiempo se determinó que en las parcelas con vegetación se presentó un incremento mayor del pH (5,77) que en las parcelas con suelo desnudo (5,52), aunque la prueba estadística de Friedman no reportó una influencia significativa del tiempo en ninguno de los dos tratamientos (tabla 36).

Tabla 34. pH del suelo.

| TRATAMIENTO | Ph | |
|---------------|---------|-------|
| | INICIAL | FINAL |
| SUELO DESNUDO | 5,49 | 5,52 |
| VEGETACIÓN | 5,49 | 5,77 |

6.6.7.1. Prueba de U de Mann-Whitney y Friedman para pH del suelo al inicio y final del estudio.

Los datos de pH según la prueba de Shapiro-Wilk no se acomodan a la distribución normal, por lo tanto se les aplicó pruebas no paramétricas de U de Mann-Whitney y Friedman. Como variable independiente se utilizó el tratamiento, él cual posee dos niveles uno con suelo desnudo y otro con suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, cada uno con tres repeticiones y como variable dependiente los datos de pH de cada tratamiento.

6.6.7.1.1. Prueba de U de Mann-Whitney

Tabla 35. Prueba de U de Mann-Whitney para pH del suelo. Estadísticos de contraste^b

| | pH |
|---------------------------|--------|
| U de Mann-Whitney | 1,00 |
| W de Wilcoxon | 22,000 |
| Z | -2,751 |
| Sig. asintót. (bilateral) | ,006 |

b Variable de agrupación: TRATAMIENTO

La prueba de U de Mann-Whitney reportó diferencias estadísticamente significativas ($p: 0,006$) para el pH del suelo. En el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural el pH fue más estable que en el tratamiento con suelo desnudo (tabla 35)

6.6.7.1.2. Prueba de Friedman

Tabla 36. Prueba de Friedman para los promedios de pH del suelo.

| Estadísticos de contraste ^a | | |
|--|---------------|----------------------|
| | SUELO DESNUDO | SUELO CON VEGETACIÓN |
| N | 3 | 3 |
| Chi-cuadrado | 3,000 | 3,000 |
| Gl | 1 | 1 |
| Sig. asintót. | ,083 | ,083 |

a Prueba de Friedman

En el análisis estadístico al aplicar prueba de Friedman se encontró que no existe influencia significativa del tiempo en los tratamientos con suelo desnudo ($p: 0,083$) y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural ($p: 0,083$), en cuanto al pH del suelo.

El pH obtenido al final del estudio (5,52 a 5,77) se encuentra dentro del rango óptimo en general para todos los cultivos que está entre 5,5 y 6,7 (Montenegro, G. H. (1995)), se debe tener en cuenta que el pH influye en la disponibilidad y absorción de nutrientes de la solución suelo por parte de la planta, en la actividad de organismos. Asimismo, el pH juega un papel importante en la capacidad de intercambio catiónico del suelo y en la tasa de descomposición de materia orgánica.

Se esperaba que el pH en las parcelas con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural al final del estudio fuera menos ácido, pero debido a la actividad de microorganismos, a la descomposición de la materia orgánica que aporta al suelo diferentes minerales y gases: amoníaco, nitratos, fosfatos, dióxido de carbono contribuyen en su mayoría con un pH ácido, otros factores que influyeron como fuentes de acidez del suelo fueron: erosión, presencia de aluminio intercambiable (tabla 37), el intercambio de hidrogeniones del agua lluvia por los cationes de calcio, magnesio, potasio y sodio y su posterior arrastre. (Tabla 6). Un indicativo del suelo ácido fue el crecimiento de helechos en las parcelas (tabla 41).

Todos estos factores que influyen en el pH del suelo y traen consigo deficiencia o fijación de algunos nutrientes como calcio, fósforo y magnesio, causando infertilidad de los suelos ácidos. Los suelos de Popayán son ácidos según Ramírez, A. y Ortiz, G. (1988) que reportan un promedio de pH de 5,41 y el informe de la Secretaria de Agricultura y Ganadería del Cauca, Laboratorio de Suelo (2006), en el análisis del suelo del Jardín Botánico Álvaro José Negret encontró pH de 5,1, catalogándolo como muy ácido. En ambos casos llegan a la conclusión que es necesario realizar aplicaciones de cal.

El pH ejerce una influencia en aspectos de nutrición de las plantas ya que la capacidad de extraer determinados nutrientes del suelo queda limitada por esta variable. Así los distintos elementos nutritivos para las plantas presentan unos valores óptimos de pH y en función de éste podrán ser absorbidos o no por las raíces de la planta.

6.6.8. Aluminio intercambiable

Los valores de aluminio intercambiable al inicio del estudio fueron similares para los dos tratamientos, presentándose en suelo desnudo 0,950meq/100g y para suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural 0,944meq/100g. Al final del estudio los valores disminuyeron por la adición de cal agrícola obteniendo unos valores de 0,212 y 0,238 meq/100g para suelo desnudo y suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, respectivamente.

Tabla 37. Aluminio intercambiable en el suelo

| TRATAMIENTO | ALUMINIO INTERCAMBIABLE EN EL SUELO (meq/100g) | |
|----------------------|--|-------|
| | INICIAL | FINAL |
| SUELO DESNUDO | 0,950 | 0,212 |
| SUELO CON VEGETACIÓN | 0,944 | 0,238 |

Al inicio del estudio los valores de aluminio intercambiable fueron altos que modifican considerablemente el pH, generando suelos ácidos. Según Cervantes (1970) citado por Montenegro, G. H. (1995) los suelos de las cordilleras presentan un promedio de pH de 5,1 y de aluminio de 2,54meq/100g. Ramírez, A. y Ortiz, G. (1988) encontraron valores de aluminio intercambiable para Popayán entre 1,7 a 2,6meq/100g y el informe de la Secretaria de Agricultura y Ganadería del Cauca, Laboratorio de Suelo (2006), en el análisis del suelo del Jardín Botánico Álvaro José Negret encontró que poseía 1,0meq/100g de aluminio intercambiable clasificándolo con un nivel alto perjudicial, que hace necesario la aplicación de cal.

Frecuentemente en suelos ácidos de Colombia la capa 0-5, 8, 10cm., presenta valores entre 0,1 y 1meq/100g de aluminio que van aumentando en profundidad y alcanzan valores de 2,4 y hasta 15meq/100g de aluminio en el subsuelo.

Además el aluminio de generar acidez en el suelo cuando se presenta en niveles entre 0,1 a 3,0meq/100g, puede causar daños directos en las raíces e impedir la entrada y traslocación de calcio y fósforo a los cogollos, inhibición de la división celular, precipitación del fósforo sobre la raíz y formación de compuestos fósforo-aluminio insolubles e impedimentos para el desarrollo de algunos cultivos.

La adición de cal manifestó aumento del pH y disminución del aluminio intercambiable, aumento de la disponibilidad de los nutrientes: fósforo y nitrógeno (tabla 38 y 39), mejorando las condiciones de fertilidad del terreno.

6.6.9. FÓSFORO DEL SUELO

Al inicio del estudio en el suelo desnudo se encontró 6,381ppm de fósforo y en el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural 7,845ppm de fósforo, siendo estos valores mayores a los encontrados al final del estudio 5,878 y 5,955ppm en el suelo desnudo y con cobertura vegetal, respectivamente, esto se debe principalmente a que después de agregar cal el fósforo se encuentra más disponible para las plantas y éstas lo pueden absorber, mientras en el suelo desnudo hay un mayor arrastre de este nutriente en solución o en suspensión asociado a las partículas sólidas erosionadas llevadas por el agua de escorrentía, (tabla 13).

Tabla 38. Concentración de Fósforo en el suelo

| TRATAMIENTO | FÓSFORO EN EL SUELO (ppm) | |
|----------------------|---------------------------|-------|
| | INICIAL | FINAL |
| SUELO DESNUDO | 6,381 | 5,878 |
| SUELO CON VEGETACIÓN | 7,845 | 5,955 |

Ramírez, y Ortiz, (1988) encontraron en Popayán niveles de fósforo de 7,2 a 9,2ppm y el informe de la Secretaria de Agricultura y Ganadería del Cauca, Laboratorio de Suelo (2006), en el análisis del suelo del Jardín Botánico Álvaro José Negret reportó valores de 7,1ppm, al igual que los valores encontrados en esta investigación son considerados bajos, para lo cual se tuvo en cuenta los

valores establecidos por ICA donde valores menores de 15ppm de fósforo son considerados bajos y valores superiores de 30ppm son altos.

La poca cantidad de fósforo disponible constituye uno de los principales problemas en estos suelos porque es un nutriente primordial que las plantas y microorganismos necesitan para su buen desarrollo. La baja disponibilidad de fósforo está determinada por el pH ácido del suelo y la presencia alta de aluminio intercambiable.

USDA determinó que materiales de suelo con propiedades ándicas (andisoles) deben tener una retención de fosfatos superior a 85%: para reducir este problema se han investigado prácticas como el encalado.

La adición de cal en las parcela permitió una mayor disponibilidad del fósforo, contribuyendo al crecimiento de las plantas y la actividad de microorganismos, que a la vez incrementan la cantidad de materia orgánica, la cual al descomponerse retorna parte del fósforo al suelo.

El fósforo es vital para el crecimiento inicial de la planta porque ayuda a las raíces y plántulas a desarrollarse rápidamente y el nitrógeno influye favorablemente en la absorción de fósforo. La absorción de nitrógeno ayuda a mantener la condición de pH en la superficie de la raíz, mejorando de esta forma la absorción de fósforo.

6.6.10. NITRÓGENO SUELO

El porcentaje de nitrógeno al inicio del estudio fue mayor en el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural (0,698), que en el suelo desnudo (0,687), al final del estudio el porcentaje de nitrógeno también fue mayor en el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural (0,770), que en suelo desnudo (0,711). Al comparar los resultados iniciales con los finales los primeros fueron mucho menores, debido a que los datos iniciales corresponden a suelos sin encalar y sin vegetación. El encalado contribuye a que se generen condiciones más favorables de pH, presencia de fósforo disponible, favorece al desarrollo de las raíces, que ayudan al crecimiento de las plantas, las cuales permiten fijar el nitrógeno.

Tabla 39. Concentración de nitrógeno en el suelo

| TRATAMIENTO | NITRÓGENO EN EL SUELO (%N) | |
|----------------------|----------------------------|-------|
| | INICIAL | FINAL |
| SUELO DESNUDO | 0,687 | 0,711 |
| SUELO CON VEGETACIÓN | 0,698 | 0,770 |

Las principales entradas de nitrógeno al suelo se producen a través de las distintas formas de fijación biológica, por parte de las leguminosas y de los microorganismos del suelo.

Los compuestos nitrogenados son muy solubles y deben producirse en presencia de las plantas para evitar que sean lavados, como lo que ocurre en el suelo desnudo que presenta mayor arrastre de este nutriente (tabla 16), también la vegetación reduce la temperatura con lo que disminuye la volatilización.

La Secretaria de Agricultura y Ganadería del Cauca, Laboratorio de Suelo (2006), en el análisis del suelo del Jardín Botánico Álvaro José Negret reportó un alto porcentaje de nitrógeno de 0,69 y este valor se asemeja a los encontrados en esta investigación. Gracias a que la solubilidad de los compuestos nitrogenados es alta, su disponibilidad para las plantas y microorganismos normalmente también es alta, y la buena presencia de oxígeno por la alta porosidad y la baja densidad aparente contribuyen con el proceso de nitrificación, que por ser un proceso oxidativo requiere de una buena tensión de oxígeno.

La amonificación se presenta en un punto óptimo de 50 a 75% de capacidad de retención de humedad, la mineralización ocurre dentro de un rango amplio de pH, pero ésta es más rápida cerca de la neutralidad.

6.6.11. DATOS MICROBIOLÓGICOS

Las colonias de microorganismos al inicio del estudio en los tratamientos fueron menores que al final del estudio (tabla 40).

Tabla 40. Colonias de microorganismos edáficos.

| MEDIO/DILUCIÓN | RECuento DE COLONIAS DE MICROORGANISMOS EDÁFICOS | | | |
|--------------------|--|----------------------|---------------|----------------------|
| | INICIAL | | FINAL | |
| | Suelo desnudo | Suelo con vegetación | Suelo desnudo | Suelo con vegetación |
| Agar 10-6 | 6 | 4 | 14 | 16 |
| Agar 10-5 | 3 | 5 | 10 | 20 |
| PDA 10-6 | 10 | 6 | 3 | 5 |
| PDA 10-5 | 14 | 12 | 9 | 32 |
| Actinomicetos 10-3 | 1 | 2 | 84 | 152 |
| Actinomicetos 10-5 | 1 | 3 | 10 | 40 |

6.6.11.1. CULTIVOS MICROBIOLÓGICOS AL INICIO DEL ESTUDIO

Suelo desnudo

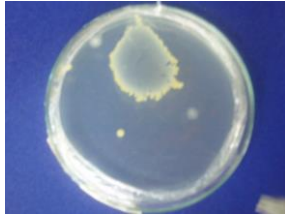


Figura 10. Bacterias en AGAR 10^{-6}

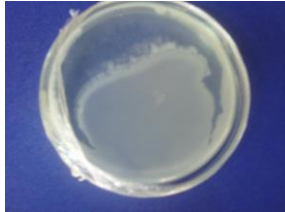


Figura 12. Bacterias en AGAR 10^{-5}

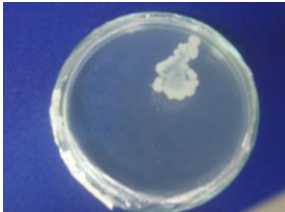


Figura 14. Hongos en PDA 10^{-6}

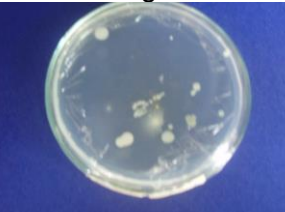


Figura 16. Hongos en PDA 10^{-5}

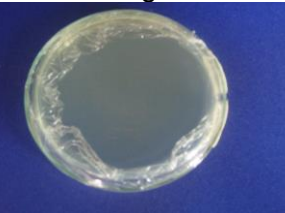


Figura 18. Actinomicetos 10^{-3}

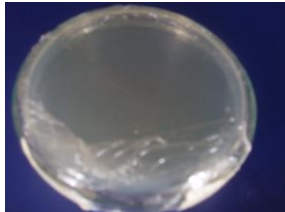


Figura 20. Actinomicetos 10^{-5}

Suelo con cobertura vegetal

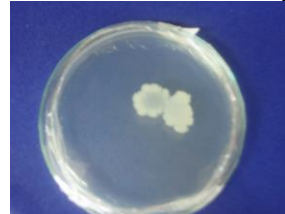


Figura 11. Bacterias en AGAR 10^{-6}

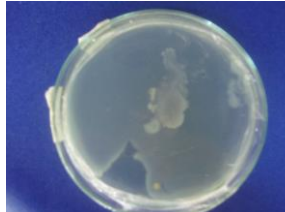


Figura 13. Bacterias AGAR 10^{-5}

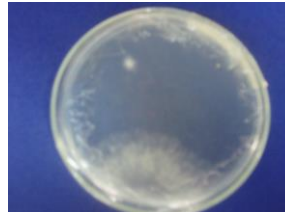


Figura 15. Hongos en PDA 10^{-6}

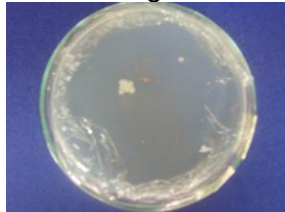


Figura 17. Hongos en PDA 10^{-5}

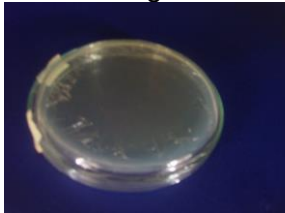


Figura 19. Actinomicetos 10^{-3}

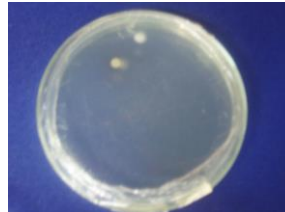


Figura 21. Actinomicetos 10^{-5}

6.6.11.2. CULTIVOS MICROBIOLÓGICOS AL FINAL DEL ESTUDIO
Suelo desnudo **Suelo con cobertura vegetal**

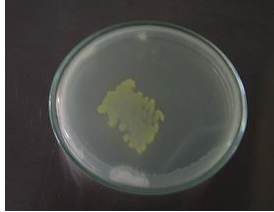


Figura 22. Bacterias en AGAR 10^{-6}



Figura 23. Bacterias en AGAR 10^{-6}



Figura 24. Bacterias en AGAR 10^{-5}

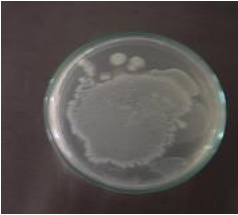


Figura 25. Bacterias en AGAR 10^{-5}



Figura 26. Hongos en PDA 10^{-6}



Figura 27. Hongos en PDA 10^{-6}

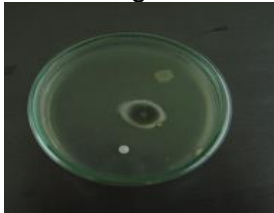


Figura 28. Hongos en PDA 10^{-5}



Figura 29. Hongos en PDA 10^{-5}

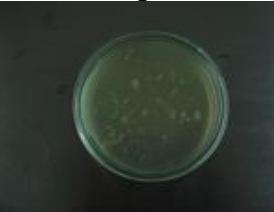


Figura 30. Actinomicetos 10^{-3}



Figura 31. Actinomicetos 10^{-3}



Figura 32. Actinomicetos 10^{-5}



Figura 33. Actinomicetos 10^{-5}

Al inicio del estudio las colonias de bacterias en Agar 10^{-6} , de hongos en PDA 10^{-6} y 10^{-5} fueron mayores en el suelo desnudo que en el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural y en las colonias de bacterias que crecieron en los medios de Agar 10^{-5} , actinomicetos al 10^{-3} y 10^{-5} fueron mayores para el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural que para el suelo desnudo. Al finalizar el estudio las colonias para ambos tratamientos se incrementaron, pero el tratamiento con cobertura vegetal fue el que obtuvo mayor número de colonias (tabla 40 y Figuras 10 a 33).

Estos resultados se deben a que al adicionar cal se redujo la acidez, disminuyó el aluminio intercambiable, aumento la disponibilidad de nutrientes como el fósforo y nitrógeno, lo cual brinda las condiciones necesarias para que estos microorganismos puedan desarrollarse, además la vegetación proporciona un ambiente adecuado para que los microorganismos puedan desarrollarse.

Cuando se incrementan los microorganismos en el suelo favorecen la descomposición del material orgánico y el reciclaje de nutrientes, contribuyen a mejorar la aireación, el transporte de nutrientes, la fijación del nitrógeno gaseoso, a mantener suelos sanos con una excelente estructura y capacidad productiva. Las bacterias liberan nitrógeno en forma amoniacal y, posteriormente, nítrica que permite la nutrición fúngica y el crecimiento de su población, iniciándose así una estrecha colaboración entre ambos tipos de organismos, favoreciendo a las plantas que habitan el suelo.

La fijación de nitrógeno atmosférico por parte de algunas bacterias y microorganismos, compensa las pérdidas de nitrógeno inorgánico que se produce por el lavado o por la desnitrificación.

La celulosa y la lignina son atacadas por hongos y actinomicetos, mientras que las proteínas son destruidas por las bacterias con liberación de nitrógeno inorgánico, que permite el crecimiento fúngico y hace posible continuar con el ciclaje de nutrientes.

6.7. COBERTURA VEGETAL EN PROCESO DE SUCESIÓN NATURAL

Tabla 41. Listado de especies vegetales en proceso de sucesión natural.

| No Sp | FAMILIA | ESPECIE | 2º MES | | | 4º MES | | | 6º MES | | |
|-------|------------------|---|--------|---|---|--------|---|---|--------|---|---|
| | | | A | B | C | A | B | C | A | B | C |
| 1 | Asteraceae | <i>Ageratum sp.</i> | | | | x | X | | X | x | x |
| 2 | | <i>Austroeupatorium inulifolium</i> (Kunth) Krep. | | | x | | | | | | x |
| 3 | | <i>Austroeupatorium inulae</i> N. V. | | | | | | x | | | x |
| 4 | | <i>Baccharis pedunculata</i> | | x | | | | | | x | x |
| 5 | | <i>Baccharis trinervis</i> Pers. | | | | | X | | | x | x |
| 6 | | <i>Bidens pilosa</i> | x | x | | x | X | | X | x | x |
| 7 | | <i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronquist. | x | x | x | | X | | X | x | x |
| 8 | | <i>Elephantopus mollis</i> Kunth. | | | | | X | | X | x | x |
| 9 | | <i>Emilia coccinea</i> (Sims.) G. Don. | x | x | x | x | X | | X | | x |
| 10 | | <i>Erechtites hieracifolia</i> | | | | | X | x | | | x |
| 11 | | <i>Galinsoga quadrirradiata</i> Ruiz & Pavon. | x | x | x | x | X | x | X | x | x |
| 12 | | <i>Melapodium divaricatum</i> (Rich.) D. C. | x | x | | x | X | x | X | x | |
| 13 | Fabaceae | <i>Aeschynomene falcata</i> (Poir.) D. C. | x | x | x | | X | x | X | x | x |
| 14 | | <i>Crotalaria sagittalis</i> | | | | x | X | | X | | x |
| 15 | | <i>Desmodium mollicillum</i> (Kunth) D. C. | x | x | x | x | X | x | X | x | x |
| 16 | | <i>Desmodium uncinatum</i> (Jacq.) D. C. | x | x | x | | X | | X | | |
| 17 | | <i>Eriosema diffusum</i> (Kunth) G. Don. | x | x | x | x | X | x | X | | x |
| 18 | | <i>Stylosanthes guianensis</i> (Aubl.) Sw. | x | | | | | | X | x | x |
| 19 | | <i>Zornia diphylla</i> (L.) Pers. | x | | | x | X | x | X | x | x |
| 20 | Poaceae | <i>Brachiaria decumbens</i> Stapf. | x | x | x | x | X | x | X | | x |
| 21 | | <i>Melinis minutiflora</i> Beauv. | x | x | x | | | | X | | x |
| 22 | | <i>Panicum sp.</i> | x | x | x | | X | x | X | | |
| 23 | | <i>Setaria parviflora</i> (Poir.) Kerguelen | x | x | x | x | X | x | X | | x |
| 24 | | <i>Stipa sp.</i> | | x | | | | | X | x | |
| 25 | Cyperaceae | <i>Cyperas sp.</i> | | x | | | X | | X | x | x |
| 26 | | <i>Fimbristylis sp.</i> | | | | | | x | X | x | x |
| 27 | | <i>Rhynchospora nervosa</i> Vahl. | x | x | x | | X | x | X | x | x |
| 28 | | <i>Rhynchospora sp.</i> | | | | | X | x | X | x | |
| 29 | Apiaceae | <i>Hydrocotyle</i> | x | x | | | X | | | x | |
| 30 | Caryophyllaceae | <i>Arenaria lanuginosa</i> (Michx) Rohrb | x | x | x | x | X | | X | x | |
| 31 | Clusiaceae | <i>Hypericum sp.</i> | | | | | X | | | x | |
| 32 | Dennstaedtiaceae | <i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn | x | x | x | x | X | x | X | x | x |

| | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 33 | Hypoxidaceae | <i>Hipoxis decombens</i> L. | x | x | x | x | X | | X | x | |
| 34 | Lamiaceae | <i>Hiptis atrorubens</i> Poit. | | | x | x | X | x | X | x | x |
| 35 | Lytraceae | <i>Cuphea carthagenesis</i> (Jacq.) Macbr. | x | | | x | X | x | X | x | x |
| 36 | Malvaceae | <i>Sida rhombifolia</i> L. | x | x | x | | X | x | X | x | |
| 37 | Melastomataceae | <i>Tibouchina gracilis</i> (Bonpl.) Cogn. | | | | | | x | | | x |
| 38 | Mimosaceae | <i>Mimosa albida</i> M. & B. | x | | | | | | X | | x |
| 39 | Ochnaceae | <i>Sauvagesia erecta</i> L. | | | | | X | | | x | |
| 40 | Oxiladiaceae | <i>Oxalis corniculata</i> L. | x | x | | | X | | | x | |
| 41 | Polygonaceae | <i>Polygonum acuminatum</i> Kunth | x | | | | | | | x | |
| 42 | Solanaceae | <i>Solanum americanum</i> Millar | | | | | X | x | | | |
| 43 | Rubiaceae | <i>Richardia scabra</i> L. | | | | x | | x | X | x | x |
| 44 | Verbenaceae | <i>Verbena hispida</i> R. & P. | | | x | | | | X | x | |

Al inicio del estudio los suelos de los tratamientos se encontraban desnudos, para las parcelas del tratamiento con cobertura vegetal se dejó que crecieran las plantas dando comienzo al proceso de sucesión natural, al final de la investigación las parcelas se encontraban cubiertas por vegetación herbácea en un cien por ciento (Figuras 34 a 39).

En el transcurso del estudio crecieron 44 especies pertenecientes a 20 familias, la familia con mayor número de especies fue Asteraceae (12), seguida de Fabaceae (7) y Poaceae (5) (Tabla 41).

Aunque la familia Poaceae no fue la que mayor número de especies presentó, fue la más abundante y una de las primeras en surgir junto con el helecho marranero (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), este último es indicador de medios ácidos, con el transcurso del tiempo fueron emergiendo especies de Fabaceae, Asteraceae, entre otras. Estas plantas se caracterizan por ser colonizadoras, por su rápido crecimiento que ayudan a cubrir los suelos desprotegidos evitando su degradación.

La cobertura vegetal protege contra la erosión, especialmente la erosión hídrica, disminuye la velocidad y fuerza del agua; aumentan la infiltración y el tiempo de permanencia del agua en el suelo, esto se ve reflejado en los volúmenes de agua de escorrentía y arrastre de nutrientes en menor proporción en las parcelas con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural, que en las parcelas con suelo desnudo.

Las plantas aportan materia orgánica, que al descomponerse brindan al suelo diferentes nutrientes y gases esenciales para el metabolismo de los seres vivos, además garantiza la estabilidad y la agregación del suelo.

El encalado mejora la fijación simbiótica de nitrógeno por parte de las leguminosas, aumenta la disponibilidad de fosfatos para la vegetación y permite el desarrollo de algunas plantas que no toleran valores bajos de pH.

Figura 34. Parcela A al inicio del estudio.



Figura 35. Parcela A al final del estudio.



Figura 36. Parcela B al inicio del estudio



Figura 37. Parcela B al final del estudio.



Figura 38. Parcela C al inicio del estudio.



Figura 39. Parcela C al final del estudio.



7. CONCLUSIONES

En el tratamiento con suelo desnudo se presentó la mayor cantidad de suelo arrastrado 29,451ton/ha/6meses con respecto al tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural que fue de 7,239ton/ha/6meses, debido a que las plantas a medida que crecían protegían el suelo, reduciendo así la erosión superficial.

El volumen de agua de escorrentía fue menor en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural 1967L que en el tratamiento con suelo desnudo 2179L, esto se debe a la mayor porosidad, menor densidad aparente, absorción y retención de agua por parte de las plantas en el suelo con cobertura vegetal.

Se demostró que existe una relación directamente proporcional entre el agua de escorrentía y el suelo arrastrado, en donde el arrastre de suelo depende en un 95,6% de la variabilidad de la escorrentía en el tratamiento con suelo desnudo y que por cada litro de agua de escorrentía que se genere tiende a arrastrar un promedio de 0,0948Kg. de suelo, mientras que en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural el arrastre de suelo depende en un 81,0% de la variabilidad del volumen de agua de escorrentía y que por cada litro de escorrentía que se genere tiende a arrastrar un promedio de 0,0182 Kg. de suelo.

La conductividad en el agua de escorrentía fue alta al inicio del estudio en ambos tratamientos, debido a que el suelo se encontraba descubierto y removido, además se inicio la época de lluvia, pero disminuyó a medida que se incrementaba la cobertura vegetal que redujo el transporte de iones.

El pH en el agua de escorrentía vario en el transcurso del estudio, en el tratamiento con suelo desnudo los valores se encontraron entre 6,51 y 7,18, en cuanto al suelo con cobertura vegetal presentó los valores entre 6,71 y 7,28, porque las plantas protegen el suelo y reducen el lavado de iones.

Los valores de fosfatos arrastrados en el agua de escorrentía durante los seis meses de estudio fueron mayores en el tratamiento con suelo desnudo 0,8767mg/L que en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal 0,5833mg/L. Además los valores iniciales difieren de los finales debido al efecto del encalado que redujo la fijación de los fosfatos, presentando un incremento de fosfatos arrastrados al final del estudio en el suelo desnudo, mientras que donde hubo presencia de plantas el arrastre de este nutriente fue menor porque lo absorbieron.

El suelo descubierto y la alta solubilidad contribuyeron al mayor arrastre de nitrato por el agua de escorrentía 18,583mg/L que el suelo que se encontraba con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural 11,333mg/L, donde optimizan la fijación biológica del nitrógeno, no solo por parte de las plantas sino también por los microorganismos.

En cuanto al otro nutriente analizado en el agua de escorrentía: el calcio también se presentaron valores altos de arrastre en el tratamiento con suelo desnudo 358,33mg/L que en tratamiento de suelo con cobertura vegetal 273,00mg/L. En comparación con el nitrato y los fosfatos fue el nutriente que en mayor cantidad fue arrastrado por efecto de la labranza del suelo y también por mantener la tierra descubierta. El lavado de calcio genera acidez por lo que la adición de cal repone este catión.

La cobertura vegetal entre más densa protege mejor el suelo y evita su erosión, reduciendo los volúmenes de agua de escorrentía, el arrastre de nutrientes y suelo, además de incrementar la humedad, proporciona un ambiente adecuado para el desarrollo de microorganismos, generando condiciones físicas, químicas y biológicas que estructuran el suelo.

La textura franco-arenosa le da al suelo elevada porosidad, alto drenaje y una baja capacidad de retención, lo cual genera lavado de nutrientes, y por su bajo porcentaje de arcillas es más susceptible a la erosión

La densidad aparente en el suelo desnudo fue semejante al inicio y al final del estudio, pero en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal disminuyó al final del estudio por la perforación del suelo por parte de las raíces cuando crecen. Las bajas densidades (0,558-0,641 g/cm³) y la alta porosidad (71-74%), permiten la fácil circulación del agua y el aire, al igual la conductividad hidráulica determinó que el paso del agua va de rápida a moderadamente rápida después de saturado el suelo. El leve incremento de la densidad aparente y la reducción de la porosidad en el suelo desnudo aumentaron los volúmenes de agua de escorrentía.

La protección que brindan las plantas frente a la exposición directa del suelo de los rayos del sol, por la infiltración y retención de agua, permitió que los porcentajes de humedad se incrementaran en el suelo con cobertura vegetal a medida que las plantas abundaban.

El pH del suelo en ambos tratamientos fue similar al inicio del estudio 5,49, pero al finalizar fue mayor en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural 5,77 que en el tratamiento con suelo desnudo 5,52, esto se debe al efecto del encalado, que redujo el aluminio intercambiable, y la acidez del suelo, permitiendo que se encuentre dentro de un rango óptimo para el desarrollo de las plantas y microorganismos.

El aluminio intercambiable presente en el suelo en ambos tratamientos fue similar 0,950meq/100g para suelo desnudo y 0,944meq/100g para suelo con vegetación, pero al final del estudio disminuyó 0,212meq/100g para suelo desnudo y 0,238meq/100g para suelo con cobertura vegetal, esto se debe principalmente a la adición de cal que redujo el aluminio intercambiable.

Al inicio del estudio el fósforo presente en suelo desnudo fue de 6,381ppm y en el suelo con cobertura vegetal en proceso de sucesión natural fue 7,845ppm de fósforo, pero al final del estudio estos valores disminuyeron 5,878ppm para suelo desnudo y 5,955ppm para suelo con cobertura vegetal, esto se debe a que después de agregar cal, el fósforo se encontraba más disponible, por lo cual en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal las plantas lo absorbieron, mientras que el suelo desnudo el fósforo fue arrastrado bien en solución o en suspensión asociadas a las partículas sólidas erosionadas y llevadas por el agua de escorrentía.

El porcentaje de nitrógeno en el suelo al inicio del estudio fue mayor en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal 0,698 que en el tratamiento con suelo desnudo 0,687 y al final del estudio el tratamiento de suelo con cobertura vegetal también fue mayor 0,770 que en el suelo desnudo 0,711, esto se debe a que después de agregar cal aumenta la disponibilidad de nitrógeno y en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal tanto las plantas como microorganismos contribuyen fijando este nutriente y retornándolo como materia orgánica.

El crecimiento de colonias de microorganismos al inicio del estudio fue menor en ambos tratamientos, pero al finalizar el estudio se incrementaron siendo mayores en el tratamiento de suelo con cobertura vegetal que en el tratamiento con suelo desnudo, este incremento se debe a que las plantas brindan nutrientes, humedad y hábitat, además el encalado redujo la acidez, disminuyó el aluminio intercambiable, aumento la disponibilidad de nutrientes proporcionando las condiciones necesarias para el desarrollo de los microorganismos.

8. RECOMENDACIONES

Realizar análisis de falta o exceso de nutrientes utilizando especies vegetales, su fisiología, morfología y extracción de nutrientes de los tejidos, ya que proporciona un índice preciso de la absorción de los nutrientes por la planta, en especial las hojas son muy susceptible a los cambios del medio nutritivo.

Además de conocer la textura de la capa superficial (00 – 30 cm.) es conveniente analizar la capa subsuperficial (> 30cm) para determinar a la vez la capacidad de drenaje del suelo.

Es necesario realizar más análisis físicos, químicos y biológicos del suelo, no solo al inicio, si no durante el transcurso del estudio, para obtener resultados más confiables.

En el suelo arrastrado se debe cuantificar la cantidad de nutrientes llevados en sus partículas, para determinar la totalidad de los nutrientes que el suelo pierde.

Realizar un estudio más detallado sobre los microorganismos presentes en los suelos de la Meseta de Popayán, las perturbaciones a las cuales pueden estar sometidos, como también su papel en la productividad y conservación del suelo.

Realizar campañas suministrando información sobre los resultados obtenidos en productividad, manejo y conservación de suelos.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MAYOR DE POPAYÁN. Plan de ordenamiento territorial. Documento técnico. Componente ambiental. Popayán.2002. p 86-87.

ALCALDÍA MAYOR DE POPAYÁN. SECRETARÍA DE PLANEACIÓN MUNICIPAL. Plan de Desarrollo Rural. Diagnóstico para la Implementación de un Plan Ambiental Municipal. Popayán. La Secretaría. Documento Técnico. Componente Ambiental. 1999. p. 86-87

APHA, AWWA, WPCF. Métodos normalizados para análisis de aguas potables y residuales. 17 ed. Madrid. 1992. p. 2-63.

BELMONTE SERRATO, F; y otros. Óptimo de cobertura vegetal en relación a las pérdidas de suelo por erosión hídrica y las pérdidas de lluvia por interceptación. [en línea]. Papeles de geografía. Nº 30. España. 1999. p. 5-15. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet: <<http://www.um.es/dp-geografia/papeles/n30/01%20Belmonte%205-15.pdf>>

BLANCO SANDOVAL, José O. Manejo integral de suelos con énfasis en el cultivo del arroz. Pronatta. Colombia. La Opinión 2003. p. 118-119.

BORNEMISZA, E. Conceptos modernos de la acidez del suelo. Turrialba (C. R.) 15(1):20-24. 1965.

BRAVO, I., GIRALDO, E. GARCES, P. Biotransformación de algunos residuos agroindustriales y evaluación de su proceso de humificación. Suelos Ecuatoriales. Vol. 31. No. 2. 2001. p. 35-42

BRAVO, R. I y GIRALDO, R. E. Manual de prácticas de química agrícola: Análisis de suelos. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales Exactas y de la Educación. Departamento de Química. 1998.

CASTILLO, Alicia; DE MICHELLI, César; LEIVA, Gustavo y SUBOSKY, Martha Influencia de Enmiendas Orgánicas sobre el Aluminio de Cambio y Fósforo disponible en un Ultisol. Facultad de Ciencias Agrarias. UNNE. Argentina. 2004. p 1-4.

CONTRERAS ÁVILA, Adalberto. Pérdidas de suelo en las sistemas de producción de ladera. Determinación de causas, pérdidas de suelo en sistemas de producción en laderas y recomendaciones de recuperación y manejo, en el departamento del atlántico. Colombia. CORPOICA. 2000. p 1-14.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Suelos de Colombia. Santafe de Bogota, D.C: IGAC, 1995. p. 469-483.

DAVILA, J. Caracterización preliminar de ácido fulvico de dos suelos colombianos (Andisol del Cauca y Oxisol del Amazonas). Popayán. 2002. Trabajo de grado.(Químico). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Programa de Química.

DELGADO, Mario. Los microorganismos del suelo en la nutrición vegetal. [en línea]. Villavicencio Colombia. 2005. [Citado 02 Feb 2007]. Disponible en Internet: <http://www.oriusbiotecnologia.com/site/index.php?id=20,63,0,0,1,0>

FARAMARZ Hayrapetian. Plantas. [en línea]. Madrid. 1992. [Citado 19 de ene 2007]. Disponible en Internet <<http://www.geocities.com/lawebdetodospeces/pag23.html> >

FASSBENDER, H. W. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. 2 ed. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. 1987 p. 174, 227, 279-280

FERNÁNDEZ. Leticia y otros. Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región Sojera. [en línea]. Cienc. Suelo v.23.n.1. Buenos Aires ene./jul. 2005. Argentina. 2005. [Citado 02 Feb 2007]. Disponible en Internet. http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S032631692005000100004&script=sci_arttext&tlng=es

FORTI, Andrés. Escorrentía y erosión bajo diferentes grados de cobertura y sistemas de siembra en suelos de ladera [en línea]. Revista Forestal Venezolana. Vol. 1. No. 44. Venezuela. enero - junio 2000. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet: <http://www.saber.ula.ve/cgi-win/be_alex.exe?Ejemplar=T016300000161/16&Nombrebd=SSABER>

GOBIERNO DE NAVARRA. El ciclo del nitrógeno en los suelos agrícolas.[en línea]. Microsoft FrontPage 3.0 España: Boletín oficial de Navarra [SF]. [Citado 18 dic., 2006] Disponible en Internet: <URL:<http://www.cfnavarra.es/agricultura/buenas/cap4.html>>

GUTIÉRREZ CORONADO, Marco A. Potasio y Calcio aplicado al suelo y su influencia en la productividad y calidad en hortalizas. 2001. Citado 09. feb, 2007] Disponible en Internet: <<http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort02/Ponencia02.pdf> >

HARRISON John Arthur. El Ciclo del Nitrógeno: De Microbios y de Hombres. [En línea]. Visionlearning Vol. EAS-2 (4s), 2003 [Citado 18 dic., 2006].

Disponible en Internet.:
<http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=98&l=s>

HOLDING B.V. Lenntech Agua residual & purificación del aire.[en línea] Rotterdamseweg 402 M2629 HH Delft. 2005. [Citado 18 dic., 2006]. Disponible en Internet: <<http://www.lenntech.com/espanol/ciclo-nitrogeno.htm>>

HOLDRIDGE, Leslie. Zonas de Vida o Formaciones vegetales de Colombia. Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico. IGAC. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Volumen XIII. No. 11. Bogotá DC. 1977.

INFOAGRO. Formas de aplicar fósforo al suelo ¿cual es la mejor?. [en línea]. Argentina. 2006. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet. <<http://www.agroinformacion.com/leer-contenidos.aspx?articulo=481>>.

LORENZ, Guido. Caracterización ecológica de un suelo Eutric Regosol bajo un bosque en el chaco semiárido [en línea]. Quebracho (3): 13-23. Argentina. 1995. [Citado 02 Feb 2007]. Disponible en Internet: .
<http://fcf.unse.edu.ar/pdf/Quebracho/q3-02.pdf>.

LEZCANO Carlos. Cooperativa Colonias Unidas. El encalado. [en línea]. Brasil. 2004. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet: <http://www.surconsult.com.py/ccu/2004/mayo/el_encalado.htm >

MARTÍNEZ, Edigso y COLMENARES, Ciolys. Efecto del encalado y el Fósforo sobre el rendimiento de materia seca del Maíz (*Zea mays* L.) y la disponibilidad de P, en un Ultisol. [en línea]. Revista. Facultad de Agronomía. (LUZ). Vol.12. Venezuela. p 167-174. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet: <http://www.revfacagronluz.org.ve/v12_2/v122z004.html>

MAZZARINO, María y GOBBI, Miriam E. Indicadores de Circulación de Nutrientes en Bosques Andino-Patagónicos. [en línea]. Colombia. 2000. [Citado 22 ene 2007]. Disponible en Internet: <<http://www.inta.gov.ar/ediciones/idia/forest/dinamica02.pdf>>

MILIARIUM.AUREUM. Suelo.2004.[Citado 19 ene 2007].Disponible en Internet: http://www.miliarium.com/Proyectos/RestauracionAmbiental/ActividadesMineras/RestauracionGraveras/Preparacion_Sustrato/Suelo.asp>.

MONTENEGRO, G. H. 1995. Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. 2ª ed. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. p 11-284.

MONTENEGRO G, H. & MALAGON C, D. Propiedades físicas de los suelos. Santa fe de Bogotá. D.C: IGAC, 1990. 813 p.

MONTENEGRO, G. H. y MALAGON, C. D. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi ". Bogotá. 1990. p 800.

MONTECINOS, Camila. Manejo biológico del fósforo en el suelo CET. Agroecología y desarrollo. [en línea]. Revista de CLADES. 1997. [Citado 02 Feb 2007]. Disponible en Internet.: < <http://www.clades.org/r8.art4.html>.>

MUÑOZ, Paola. Determinación del arrastre de Nitrato (NO_3^-), Fosfatos (PO_4^{3-}) y suelo por acción de la escorrentía superficial en parcelas permanentes con cobertura en proceso de sucesión natural y suelo desnudo. Popayán. 2007. Trabajo de Grado (Bióloga). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Programa de Biología.

PAZ G., Antonio y DUGO P., Máximo Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el NO de la Península Ibérica. [en línea]. España. 2003. [Citado 19 junio 2007]. Disponible en Internet: <<http://www.unne.edu.ar/Web/cyt/cyt/2003/comunicaciones/05-Agrarias/A-032.pdf> >

PEPICANO, B. Arcadio. Evaluación de la capacidad de retención de aluminio por la materia orgánica humificada de un suelo del departamento del Cauca. Popayán, 2006. Trabajo de grado (Químico). Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Programa de Química.

PÉREZ-N., Joel; VALDÉS V., Eduardo; HERNÁNDEZ Matías; y ORDAZ Víctor. Lluvia, escurrimiento superficial y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra. [en línea]. Agrociencia. Vol. 39. México. 2005. p 409-418. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet: <<http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2005/jul-ago/art-5.pdf>>

PÉREZ, Uriel y LÓPEZ, Roberto. Estudio preliminar de la erosión hídrica en un Inceptisol de los andes venezolanos bajo uso agrícola. [en línea]. Rev. Forest. Venez. Vol. 44. No. 2. Venezuela. 2000. p. 11-19. [Citado 22 de ene 2007]. Disponible en Internet: <http://www.saber.ula.ve/db/ssaber/Edocs/pubelectronicas/revistaforestal/vol44-2/articulo44_2_9.pdf>

PINOCHET T, Dante; RAMÍREZ R, Fernando y SUÁREZ F, Domingo. Evaluación de la calidad agrícola de cuatro enmiendas calcáreas en un suelo ácido derivado de cenizas volcánicas. [en línea]. Agro Sur, Vol. 33 N° 1. Costa Rica. enero-junio 2005. p. 29-35. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet: <http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-88022005000100004&lng=es&nrm=iso>

PORTA C. Jaime. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa. 1994.

PRADO WILDNER, L y VEIGA, M. Erosión de suelos en América Latina. Tema 2: Erosión y pérdida de fertilidad del Suelo. FAO Santiago, Chile 1993. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet: <<http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm>>

PRIMAVESI, Ana. Memorias del seminario sobre manejo ecológico del suelo tropical. Santa fé de Bogotá, Febrero 26, 27 y 28 de 2001. p.5, 42-43.

PRIMO YÚFERA, E.& CARRASCO DURRIÉN, J M. Química agrícola. Madrid: Editorial Alambra, 1973. p. 233 – 235..

RAMÍREZ, Alonso y ORTIZ, Gloria. Uso y manejo de los suelos de la meseta de Popayán. Sugerencia de Investigación y Transferencia Agropecuaria. División de Disciplinas Agrarias. Palmira. 1988. p 9-18

RIVERA V. Juan. Evaluación de organismos del suelo como posibles indicadores del impacto de actividades agrícolas. [en línea]. Tolima. Colombia. 2003. [Citado 02 Feb 2007]. Disponible en Internet: <<http://200.13.202.26:90/pronatta/proyectos/pdf/public/201731072eva.pdf>>.

RAMÍREZ. Ramiro, ESTRADA Mónica y JIMÉNEZ. Hugo. Efecto de los microorganismos eficientes en la estructura de un andisol degradado del municipio de Marinilla. [en línea]. Antioquia Colombia. [Citado 02 Feb 2007]. Disponible en Internet:http://www.unalmed.edu.co/~esgeocien/documentos/Rramirez/Efecto_De_Los_Microorganismos_Eficientes_En_La_Estructura_De_Un_Andisol_Degradado_Del_Municipio_De_Marinilla.pdf

RODRÍGUEZ, Tania; TENIAS, Jesús y PARAQUEIMA, Jesús. Comportamiento de seis cultivares de maní (*Arachis hipogaea* L.) ante el encalado en suelos ultisoles y oxisoles de los llanos orientales de Venezuela. Venezuela. Agronomía Tropical. Vol. 38. No.1-3. 2005. p.21-32.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERÍA DEL CAUCA. LABORATORIO DE SUELOS. Información del resultado del análisis completo del suelo. Registro No. 26461. Septiembre 7 de 2006.

SILVA M. Gustavo. Transporte de sedimentos en los ríos. [en línea]. Santa fe de Bogota. 2003. [Citado 19 de junio de 2007]. Disponible en Internet <<http://www.geocities.com/gsilvam/sedimentos.htm>>

SMITH, D. D; WISCHEIRE. W. H. Rainfall erosion advances in Agronomy, 14; 109-149. 1962.

SMITH, R. L & SMITH, T. M. Ecología. 4 ed. Madrid: Pearson Educación, 2001. p. 134, 135, 393, 394. SOIL SURVEY STAFF. 1975.

SUÁREZ F, Domingo. Uso de la cal en el manejo de suelos ácidos. Chile 2000. [Citado 09 Feb 2007]. Disponible en Internet: <http://72.14.203.104/search?q=cache:gb84DC_7jKwJ:www.tattersall.cl/revisa/rev179/agricola.htm+duracion+de+encalado&hl=es&ct=clnk&cd=1&gl=co>

TORRES M. P. Aporte al conocimiento de la geología y estratigrafía de la Formación Popayán, Departamento del Cauca. Novedades Colombianas. Popayán. 1997. p 4-28.

UNIVERSIDAD NACIONAL EXPERIMENTAL SUR DEL LAGO "DR. JESÚS MARÍA SEMPRÚM" UNESUR. El suelo. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet: <<http://www.monografias.com/trabajos15/suelo-erosion/suelo-erosion.shtml>> .

USDA Depto de agricultura de los Estados Unidos. P 330

VENEZUELA. MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. Erosión y formas resultantes. Venezuela. 2005. [Citado 19 ene 2007]. Disponible en Internet: <<http://www.efa.sk/esp/2/02/02-03-01.htm>>

VIVAS D. T. Y MUÑOS E. Informe general del estado actual de los recursos naturales y del medio ambiente en el municipio de Popayán: Contraloría Municipal de Popayán. 1999.

WISCHMEIER, W. H. Predicting rainfall erosion losses. Agriculture Handbook Nº 537. Sci. And Educ. Admin., U. S. Dept. Agr., Washington. 1978.

ANEXOS

MANEJO DE SUELOS

Las siguientes prácticas son prioritarias como apoyo para el manejo y conservación de suelos para cualquier cultivo en suelos con pendiente, en regiones de alta precipitación anual y suelos ácidos como los presentes en la Meseta de Popayán:

- ♣ La fertilidad del suelo tiene, componentes químicos, componentes físicos y componentes biológicos, por lo que todo manejo adecuado debe considerar mecanismos de optimización de estos tres tipos de componentes en forma interdependiente.
- ♣ Las prácticas de manejo de cultivos en suelos ácidos incluyen, como un criterio prioritario, la adopción de cultivos tolerantes. En consecuencia, no sólo se considera cuánto es el aluminio intercambiable y cuánta cal hay que aplicar para neutralizarlo, sino también la habilidad o actitud de la planta para crecer y producir rendimientos adecuados en condiciones ácidas, tal como lo señalan Sánchez y Salinas (1983), citado por Montenegro, G. H. (1995). El programa de suelos del ICA 1981, propuso algunos límites de tolerancia de pH adecuado para algunos cultivos, a pH de 4,8 a 5,5: piña, yuca, papa, pastos gordura, baquiaría y puntero; a pH de 5,6 a 6,4: arroz, maíz, tomate, trigo y frijol.
- ♣ La frecuencia de aplicación de cal dependerá de los análisis químicos, el tipo de explotación y de los efectos residuales de las aplicaciones anteriores. Conviene verificar periódicamente determinaciones de pH, calcio, magnesio intercambiables y de acuerdo con los resultados repetir las aplicaciones cada 2, 4 o 6 años.
- ♣ Selección y localización apropiada de cultivos. Se debe tener en cuenta los requerimientos ecológicos mínimos, la relación suelo-clima-planta.
- ♣ Siembra a través de la pendiente o en contorno. La siembra en contorno consiste en disponer las hileras de siembra y verificar todas las labores de cultivo en forma transversal a la pendiente, en curvas de nivel o líneas de contorno. Cada hilera de plantas constituye un obstáculo que se opone al paso del agua de escorrentía, la cual disminuye su velocidad y capacidad de arrastre.
- ♣ El reciclaje de los desechos vegetales y animales, las coberturas muertas. Consisten en cubrir la superficie del suelo con hojarasca, ramas de plantas podadas y residuos de cosechas de cultivos transitorios con el fin de disipar la

energía de las gotas de lluvia y promover la infiltración, además proporcionan nutrientes y aumenta la actividad de microorganismos.

- ♣ Manejo integrado de arvenses con selección de coberturas nobles. Las arvenses nobles, dentro de las prácticas de conservación de suelos, muestran la mayor eficiencia (95 a 97%) en la prevención de la erosión, ya que amortiguan el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y forman una superficie rugosa que disminuye la velocidad del agua de escorrentía quitándole energía y por tanto, su poder erosivo.
- ♣ Las barreras vivas reducen la velocidad del agua que corre sobre la superficie del terreno y retienen el suelo. Consiste en hileras de plantas perennes y de crecimiento denso dispuestas con determinado distanciamiento horizontal y sembradas a través de la pendiente, casi siempre en contorno o en curvas de nivel. Pueden emplearse tanto en cultivos transitorios, densos o de semibosque.
- ♣ Las aguas de escorrentía deben conducirse disipando la energía mediante trinchos vivos, hasta sitios protegidos con vegetación natural, piedras o escombros de construcciones.
- ♣ Labranza mínima evita remover el suelo para la siembra de semillas o de las plantas, manteniendo el resto de la superficie del terreno protegida con una cobertura vegetal.
- ♣ Los cultivos transitorios (fríjol, maíz, hortalizas, yuca, entre otros) ofrecen menor protección al suelo, debido a que son exigentes en desyerbas y labores frecuentes, mientras que los cultivos de pastos, semibosque y bosque permiten una mayor conservación de cobertura y mulch.
- ♣ Evitar el uso de pesticidas químicos porque son potentes inhibidores de la nitrificación y muchos de los productos fumigantes de uso general en desinfección del suelo inhiben el ciclo del nitrógeno.
- ♣ Difundir lo más ampliamente posible la información y los conocimientos referentes a la erosión de suelos y métodos para controlarla en las explotaciones agrícolas y las cuencas hidrográficas haciendo hincapié en la importancia de los recursos del suelo para beneficio de la población y el desarrollo.

La planificación del uso de la tierra y el manejo adecuado de los suelos de ladera, constituyen junto al uso de las coberturas vegetales, la estrategia más acertada para prevenir los procesos de degradación, principalmente la erosión hídrica, y en ese sentido, restaurar, sostener o aumentar la productividad del suelo.

