UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

CALIDAD DE SUELOS EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN EL PREDIO TULUMAYO – UNAS - TINGO MARÍA

TÉSIS

Para optar el título de:

INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES
MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Presentado por:

CORREA PONCE, JOSÉ CARLOS.

PROMOCIÓN 2006 - I

Tingo María – Perú

2012

BIBLIOTECA CENTRAL -UNAS

P33
C77
Correa Ponce, José Carlos

Calidad de Suelos en diferentes Sistemas de Uso en el Predio Tulumayo – UNAS – Tingo María. Tingo María 2012.

97 pag.; 52 Cuadros, 17 fgrs.; 20 ref.; 30 cm.
Tesis (Ing. en Recursos Naturales Renovables Mención: Conservación de Suelos y Agua) Tingo María (Perú). Facultad de Recursos Naturales Renovables.

1. CALIDAD - SUELO 2. SISTEMAS DE USO 3. DEGRADACIÓN 4. SOSTENIBILIDAD AGRÍCOLA 5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS – QUÍMICAS 6. INDICADORES

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María – Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 05 de Agosto del 2009, a horas 07:30 p.m. en la Sala de Conferencias de la facultad de Recursos Naturales Renovables, para calificar la tesis titulada:

"CALIDAD DE SUELOS EN DIFERENTES SISTEMAS DE USO EN EL PREDIO TULUMAYO – UNAS – TINGO MARÍA"

Presentado por el **Bachiller**: ***JOSÉ CARLOS, CORREA PONCE,*** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara aprobado con el calificativo de **"MUY BUENO"**.

En consecuencia el sustentante queda apto para optar el **Título de INGENIERO en RECURSOS NATURALES RENOVABLES, mención CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, tramitándolo al Consejo Universitario para la otorgación del título de conformidad con lo establecido en el Art. 81 inc. m) del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 19 de Julio de 2010

Ing. MSc. LUCIO ENRIQUE DE LARA SUAREZ
Presidente

Blgo. MSc. EDILBERTO CHUQUILIN BUSTAMENTE
Vocal

Ing. JAIME TORRES GARCÍA
Vocal

Ing. MSc. JOSÉ LEVANO CRISÓSTOMO
Asesor

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación va dedicado en especial a mis queridos padres: María Ponce Ávila y Albirio Correa Suélperes; quienes con sus esfuerzos y apoyo incondicional, hicieron posible la formación de mi carrera profesional y hacer de mí una persona de bien para el desarrollo de la sociedad emergente del siglo XXI.

A mis hermanos: Senayda, Segundo Albirio, Evaristo, Edith, Mary Esther, Saul, Jhonny y Eyser, a todos ellos con mucho cariño y amor.

AGRADECIMIENTO

- A nuestro Dios Padre por brindarme la fortaleza física y mental en mi vida cotidiana y guiarme por el buen camino durante mi formación profesional.

- A la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, Alma Mater y pionera de la Amazonía Peruana, por brindarme la oportunidad de compartir su albergue durante mi formación profesional.

- A la Facultad de Recursos Naturales Renovables y a los docentes del área de Conservación de Suelos y el área de Manejo de Cuencas Hidrográficas, por brindarme sus sabios conocimientos, experiencia profesional y todas las facilidades necesarias para la culminación de mi carrera profesional.

- Al Ing. José Lévano Crisóstomo, patrocinador del presente trabajo, quien con su apoyo intelectual hizo posible la culminación del trabajo de investigación.

- Al Ing. Luís Mansilla Minaya Docente de la Facultad de Agronomía, Copatrocinador del presente trabajo, por su colaboración incondicional en el trabajo de clasificación de suelos y por impartir sus sabios conocimientos, consejos y experiencia profesional.

- Al Ing. Jaime Torres García, por su apoyo incondicional en el préstamo de algunos materiales y equipos necesarios para la realización del presente trabajo.

- Al Ing. Lucio Manrique De Lara Suárez, Director de la Escuela de Post Grado y Presidente de Jurado; a él va mi sincero reconocimiento y agradecimiento, quien me brindó todas las facilidades durante mi formación profesional y en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

- Al Biólogo Oscar A. Gamarra Torres, por su colaboración en la formulación del proyecto y como guía en la evaluación de algunos parámetros de calidad del suelo.

- Al Biólogo Edilberto Chuquilín Bustamante, por su colaboración en el préstamo de algunos equipos que facilitaron la realización del presente trabajo.

- Al Bachiller Richard Sias Rodríguez, técnico del Laboratorio de Microbiología General, por facilitarme un ambiente en dicho laboratorio para la evaluación de los parámetros biológicos del suelo del trabajo investigación.

- Al Bachiller David Carranza Jara, por su apoyo incondicional en los muestreos de suelo en campo y preparación de muestras en laboratorio.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....01

II. REVISIÓN DE LITERATURA.....03

2.1. Calidad del suelo.....03

2.2. Indicadores de calidad del suelo.....05

2.2.1. Indicadores físicos.....07

2.2.2 Indicadores químicos.....10

2.2.3 Indicadores biológicos.....12

2.3. Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo.....13

III. MATERIALES Y METODOS.....15

3.1. Materiales.....15

3.1.1. Ubicación del experimento.....15

3.1.2. Caracteristicas ambientales.....15

3.1.3. Suelos.....16

3.1.4. Geología.....16

3.1.5. Fisiografía.....17

3.1.6. Geomorfología.....17

3.1.7. Accesibilidad.....17

3.1.8. Materiales y equipos.....17

a. Materiales de campo.....17

b. Materiales de laboratorio.....18

c. Equipos de campo....18
d. Equipos de laboratorio....18
e. Reactivos....18
3.2. Métodos....19
3.2.1. Disposición experimental....19
3.2.2. Etapa de pre campo....20
3.2.3. Etapa de campo....21
a. Indicadores físicos....21
b. Indicadores químicos....25
c. Indicadores biológicos....28
3.2.4. Etapa de campo....32
IV. RESULTADOS....33
4.1. Indicadores físicos....33
4.1.1. Textura....33
4.1.2. Estructura....33
4.1.3. Estabilidad de agregados....34
4.1.4. Densidad aparente....36
4.1.5. Profundidad efectiva....38
4.1.6. Infiltración....41
4.1.7. Capacidad de retención de agua....43
4.1.8. Temperatura....45
4.1.9. Resistencia a la penetración....47
4.2. Indicadores químicos....49
4.2.1. Materia orgánica....49

4.2.2. Reacción del suelo.....51
4.2.3. Nitrógeno total.....53
4.2.4. Fósforo disponible.....54
4.2.5. Potasio disponible.....56
4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico.....59
4.3. Indicadores biológicos.....60
4.3.1. Biomasa microbiana.....60
4.3.2. Respiración edáfica.....62
4.3.3. Número de lombrices.....65
4.4. Calidad del suelo.....67
V. DISCUSIÓN.....70
5.1. De los indicadores físicos.....70
5.2. De los indicadores químicos.....78
5.3. De los indicadores biológicos.....83
VI. CONCLUSIONES.....86
VII. RECOMENDACIONES.....89
VIII. ABSTRACT.....90
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....92
X. ANEXO.....97

INDICE DE CUADROS

Cuadro Página

1. Indicadores físicos, químicos y biológicos....20
2. Textura del suelo....33
3. Estructura del suelo....34
4. Porcentaje de estabilidad de agregados....34
5. Análisis de variancia de la estabilidad de agregados....35
6. Prueba de Duncan de la estabilidad de agregados....36
7. Densidad aparente del suelo....36
8. Análisis de variancia de la densidad aparente....38
9. Prueba de Duncan de la densidad aparente....38
10. Profundidad efectiva....39
11. Análisis de variancia de la profundidad efectiva....40
12. Prueba de Duncan de la profundidad efectiva....40
13. Infiltración del suelo....41
14. Análisis de variancia de la infiltración....42
15. Prueba de Duncan de la infiltración....42
16. Porcentaje de capacidad de retención de agua....43
17. Análisis de variancia de la capacidad de retención de agua....44
18. Prueba de Duncan de la capacidad de retención de agua....44
19. Temperatura del suelo....45
20. Análisis de variancia de la temperatura del suelo....46
21. Prueba de Duncan de la temperatura del suelo....46

22. Resistencia a la penetración 47
23. Análisis de variancia de la resistencia a la penetración.....48
24. Prueba de Duncan de la resistencia a la penetración.....48
25. Porcentaje de materia orgánica.....49
26. Análisis de variancia de la materia orgánica.....50
27. Prueba de Duncan de la materia orgánica.....50
28. Reacción del suelo.....51
29. Análisis de variancia de la reacción del suelo.....52
30. Prueba de Duncan de la reacción del suelo.....52
31. Nitrógeno total del suelo.....53
32. Análisis de variancia del nitrógeno total.....54
33. Prueba de Duncan del nitrógeno total.....54
34. Fósforo disponible del suelo.....55
35. Análisis de variancia del fósforo disponible.....56
36. Prueba de Duncan del fósforo disponible.....56
37. Potasio disponible del suelo.....57
38. Análisis de variancia del potasio disponible.....58
39. Prueba de Duncan del potasio disponible.....58
40. Capacidad de intercambio catiónico.....59
41. Análisis de variancia de la capacidad de intercambio catiónico.....59
42. Prueba de Duncan de la capacidad de intercambio catiónico.....60
43. Biomasa microbiana del suelo.....61
44. Análisis de variancia de la biomasa microbiana.....62
45. Prueba de Duncan de la biomasa microbiana.....62

46. Respiración edáfica del suelo.....63

47. Análisis de variancia de la respiración edáfica.....64

48. Prueba de Duncan de la respiración edáfica.....64

49. Número de lombrices del suelo.....65

50. Análisis de variancia del número de lombrices.....66

51. Prueba de Duncan del número de lombrices.....66

52. Valores y porcentajes relativos de los indicadores.....67

INDICE DE FIGURAS

Figura Página

1. Imagen aérea del predio Tulumayo UNAS....16
2. Porcentaje de estabilidad de agregados....35
3. Densidad aparente del suelo....37
4. Profundidad efectiva del suelo....39
5. Infiltración del suelo....41
6. Porcentaje de capacidad de retención de agua....43
7. Temperatura del suelo....45
8. Resistencia a la penetración del suelo....47
9. Porcentaje de materia orgánica....49
10. Reacción del suelo....51
11. Nitrógeno total del suelo....53
12. Fósforo disponible del suelo....55
13. Potasio disponible del suelo....57
14. Biomasa microbiana del suelo....61
15. Respiración edáfica del suelo....63
16. Número de lombrices del suelo....65
17. Porcentajes relativos de los cuatro sistemas de uso....69

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, se realizó entre los meses de setiembre del 2006 a febrero del 2007, en el Centro de Investigación y Producción – Tulumayo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Ubicado políticamente en el departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito José Crespo y Castillo, sector Tulumayo, y ubicado geográficamente con coordenadas UTM (E: 398860 y N: 8997650); a una altitud de 636 m.s.n.m. El presente trabajo busco determinar la calidad del suelo en los diferentes sistemas de uso (purma, pasturas, cultivo anual y cultivo permanente), para esto se evaluaron los indicadores físicos, químicos y biológicos. En los indicadores físicos del suelo se determinaron: la textura, estructura, estabilidad de agregados, densidad aparente, profundidad efectiva, infiltración, capacidad de retención de agua, temperatura del suelo y resistencia a la penetración. En los indicadores químicos se determinaron: materia orgánica, reacción del suelo, nitrógeno total, fósforo disponible, potasio disponible y capacidad de intercambio catiónico. En los indicadores biológicos se determinaron: biomasa microbiana, respiración edáfica y número de lombrices. La calidad de los suelos en los diferentes sistemas de uso, de acuerdo a sus indicadores físicos, químicos y biológicos. Obtuvimos que los suelos de bosque secundario (purma de 15 años), son de mejor calidad, seguido del cultivo permanente (cítricos), pasturas (brizanta) y el suelo de menor calidad fue el cultivo anual (maíz). De los cuatro sistemas de uso, de acuerdo al análisis de varianza y prueba de Duncan, estas presentan diferentes calidades de suelo.

I. INTRODUCCIÓN

A pesar de la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad; ya que es un recurso esencial para la producción agraria que, sin embargo, sufre serios procesos de degradación que amenazan la sostenibilidad de la agricultura (BAUTISTA *et al.*, 2004).

Los procesos de deterioro del suelo son aquellos que rebajan la capacidad actual y potencial del suelo para producir cualitativa y/o cuantitativamente los bienes o servicios que van a ser de amplio beneficio para la sociedad; sin embargo, la calidad de los suelos está estrechamente relacionada con los procesos de sucesión ecológica; la degradación de los ecosistemas por regla general trae consigo una disminución en la calidad de los suelos y una regresión en la sucesión vegetal; por ello, el estudio de la calidad del suelo, referido a sus condiciones para producir cosechas está orientado a sus características físicas, químicas y biológicas.

Los tipos o sistemas de uso de los suelos ocasionan diferentes grados de perturbación, que al afectar sus características físicas, químicas y biológicas, tendrán efectos sobre la degradación y erosión parcial o total de los

suelos. Estas características físicas, químicas y biológicas del suelo son las que van a brindar las condiciones óptimas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos; los que a su vez, tienen influencia directa o indirecta sobre la aireación, conservación de la humedad, resistencia a la erosión, disponibilidad en cantidad y calidad de los nutrientes, entre otros.

El problema es la degradación de la calidad de los suelos en la localidad de Tulumayo, por ello se determinó las propiedades físicas, químicas y biológicas (calidad de suelos) para su sostenibilidad de dichos estándares en el tiempo, ya que estos sistemas de uso afectan al menos en algunos indicadores de la calidad del suelo. El desarrollo de la investigacion ha motivado proteger, conservar y manejar adecuadamente el recurso suelo.

OBJETIVO GENERAL

- Determinar la calidad de los suelos en los diferentes sistemas de uso en el Centro de Investigación y Producción – Tulumayo UNAS.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo en cuatro sistemas de uso.
- Relacionar los efectos de diferentes sistemas de uso con la calidad del suelo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Calidad del suelo

El término "calidad del suelo" se originó en USA en la década de 1990, apareció por primera vez en el informe "Calidad del Suelo y Agua: Una Agenda para la Agricultura" del National Research Council Commitee (NRCC) (ACEVEDO *et al.,* 2005). Así mismo, la calidad del suelo es definida como "la capacidad funcional de un tipo específico de suelo, para sustentar la productividad animal o vegetal" (KARLEN *et al.*, 1997). La calidad del suelo incluye los conceptos de capacidad productiva del suelo y la protección ambiental. Las funciones específicas a que hace referencia el concepto de calidad del suelo según Brejeda y Moorman (2001), citados por ACEVEDO *et al.* (2005) son:

a. Captar, mantener y liberar nutrientes y otros compuestos químicos.
b. Captar, mantener y liberar agua a las plantas y recargar las napas subterráneas.
c. Mantener un hábitat edáfico adecuado para la actividad biológica del suelo.
d. Para hacer un mejor uso de los campos y de las zonas de protección del paisaje.

Para el NRCC (2004), citado por ACEVEDO *et al.* (2005), la protección de la calidad del suelo constituye una meta básica de la política medioambiental; enfatizando la relación existente entre la calidad del suelo y del agua; estableciendo cuatro estrategias para prevenir la degradación del suelo y la contaminación de las aguas:

a. Conservar y mejorar la calidad del suelo como primera medida para mejorar el medioambiente.
b. Hacer un uso eficiente de los pesticidas, del riego y de los fertilizantes en los sistemas agrícolas.
c. Aumentar la resistencia de los sistemas agrícolas a la erosión y escurrimiento superficial.
d. Hacer un mejor uso de los campos y de las zonas de protección del paisaje.

La calidad del suelo es dinámica y puede cambiar en el corto plazo de acuerdo al uso y a las prácticas de manejo; para conservarla es necesario implementar prácticas sustentables en el tiempo (GUZMAN *et al.,* 2000). La manutención o mejora de la calidad del suelo puede generar beneficios económicos en forma de aumentos en la productividad, mayor eficiencia en el uso de nutrientes y pesticidas, mejor calidad del aire y del agua, y reducción de los gases del efecto invernadero según Brejeda y Moorman (2001), citados por ACEVEDO *et al.,* (2005).

El plan nacional de evaluación de la calidad del suelo de los Estados Unidos de Norte América, se inició con un inventario de los suelos, incluyendo información acerca del uso, clasificación, propiedades edáficas, factores de erosión y otros. Luego se introdujo la calidad del suelo dentro de la política medioambiental y se seleccionaron indicadores de acuerdo a condiciones agro-ecológicas para establecer planes de monitoreo de su calidad (ALTIERI, 1997).

2.2. Indicadores de calidad del suelo

La calidad del suelo se puede evaluar empleando indicadores que reflejen los cambios en la capacidad del suelo y en su función. Dalurzo *et al.* (2002), citado por ACEVEDO *et al.* (2005). Los indicadores dependen del ecosistema considerado, debiendo determinarse características que sirvan como indicadores de su sustentabilidad.

Los indicadores directos comúnmente utilizados corresponden a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La capacidad productiva del suelo puede ser evaluada indirectamente con el rendimiento de los sistemas agrícolas, forestales y ganaderos. NRCS (2004) recomienda que los indicadores de calidad del suelo deban cumplir con las siguientes condiciones:

a. Ser fáciles de medir.

b. Medir los cambios en las funciones del suelo.

c. Abarcar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

d. Ser accesibles a los evaluadores y aplicables en condiciones de campo.

e. Ser sensibles a las variaciones climáticas y de manejo.

Los indicadores de calidad del suelo permiten analizar la situación actual e identificar puntos críticos con respecto a la sustentabilidad del suelo como medio productivo o bien como recurso natural importante para la calidad de la vida y manutención de la biodiversidad; además, permiten analizar los posibles impactos antes de una intervención; y ayudan a determinar si el uso del recurso es sustentable según Hunnemeyer (1997), citado por ACEVEDO *et al,. (*2005).

MOSCATELLI *et al.* (2005), consideran como indicadores de calidad del suelo a la profundidad del horizonte superficial, contenido de materia orgánica, acidez, contenido de fósforo asimilable, respiración microbiana, densidad aparente, resistencia a la penetración y tasa de infiltración. Los indicadores pueden ser variables cualitativas (afloramiento del subsuelo, aparición de canalículos de erosión, aparición de encharcamiento, etc.), variables cuantitativas (tasa de infiltración, capacidad de intercambio catiónico, pH, cantidad de nematodos u otros).

La evaluación de la calidad del suelo puede determinarse de manera comparativa; para esto puede compararse la evaluación de un sistema a través del tiempo (comparación longitudinal), u observar simultáneamente

uno o más sistemas de manejo alternativo con una referencia (comparación transversal) (Masera *et al.* (1999), citado por ACEVEDO *et al.*, 2005).

2.2.1. Indicadores físicos

Existe una variedad de indicadores físicos de la calidad del suelo (Cuadro 1), éstos varían de acuerdo a las características predominantes del lugar en estudio. CHEN (2000), recomienda como indicadores la textura, profundidad, tasa de infiltración de agua del suelo, densidad aparente, y capacidad de retención de agua. DORAN y LINCOLN (1999) recomiendan como indicadores la textura, estructura, densidad aparente, espesor del horizonte superior, estabilidad de agregados, temperatura e infiltración.

Según Brejeda y Moorman (2001), citado por ACEVEDO *et al.* (2005), sugirió que la textura del suelo que se relaciona con la porosidad, infiltración y disponibilidad de agua; la densidad aparente, relacionada con la tasa de infiltración y conductividad hidráulica; y la estabilidad de agregados, que se relaciona con la resistencia a la erosión y contenido de materia orgánica.

Las propiedades físicas útiles como indicadores de la calidad del suelo observadas por la Universidad de Chile, son las relacionadas con el arreglo de las partículas, los poros y estabilidad de los agregados, que reflejan la manera en que el suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como las limitaciones que presentan a la emergencia de las plántulas y de las

de raíces (BAUTISTA *et al.*, 2004).

FAO (2002) indica que la textura son los contenidos relativos de las partículas de diferente tamaño, como la arena, el limo y la arcilla, en el suelo. La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, ayuda a determinar la facilidad de abastecimiento de los nutrientes, agua y aire que son fundamentales para la vida de la planta.

Para conocer la textura de una muestra de suelo, separar primero la tierra fina, todas las partículas de menos de 2 mm, de las partículas mayores como la grava y las piedras. La tierra fina es una mezcla de arena, limo y arcilla. Para realizar los ensayos de campo siguientes asegúrese de utilizar sólo tierra fina.

Estructura del suelo. Las partículas no se encuentran aisladas, forman unos agregados estructurales que se llaman peds, estos agregados (o terrones) por repetición dan el suelo. Es como un poco la celdilla unidad de los cristales que por repetición origina el mineral. Los agregados están formados por partículas individuales (minerales, materia orgánica y huecos) y le confieren al suelo una determinada estructura.

El porcentaje de agregados estables al agua permite evaluar la calidad del suelo y puede definirse como el resultado de la fuerza de unión entre las partículas elementales de los agregados del suelo siendo de gran

importancia en la protección contra la pérdida de suelo por erosión ALVEAR *et al.*,(2007).

Doran *et al.* (1994), citado por INGARAMO (2003), la densidad aparente puede ser incluida dentro del grupo mínimo de parámetros a medir para evaluar la calidad de un 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.

AOKI y SERENO (2006) definen que se denomina capacidad de infiltración a la velocidad máxima con que el agua penetra en el suelo. La capacidad de infiltración depende de muchos factores; un suelo desagregado y permeable tendrá una capacidad de infiltración mayor que un suelo arcilloso y compacto.

Según VANDERLINDEN *et al.* (2003), la capacidad de retención de agua disponible es el intervalo de humedad disponible que se define como el agua del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el crecimiento normal de las plantas.

Según SANDOVAL (2006), la temperatura del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre resultado de considerar el balance energético de onda corta y de onda larga. La cantidad de

radiación neta que llega a la superficie del suelo depende de factores externos al mismo, entre ellos la radiación global disponible, el albedo, y del balance resultante de radiación infrarroja que dependerá de la temperatura y de las emisividades de la atmósfera y la Tierra.

Según RAMÍREZ (2000), la resistencia a la penetración se ve afectada por la compactación del suelo que ocurre cuando se aplica presión o carga a la superficie del suelo, como resultado de pisoteo de animales y personas, la inadecuada utilización de equipos como tractores, especialmente cuando el suelo está húmedo

2.2.2. Indicadores químicos

Los indicadores químicos de calidad del suelo incluyen propiedades que afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo y la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos (ACEVEDO *et al.,* 2005). CHEN (2000) recomienda como indicadores el contenido de materia orgánica (MO), carbono y nitrógeno orgánico, pH, conductividad eléctrica (CE), y el N, P y K disponible. Los indicadores que reflejan estándares de fertilidad (pH, MO, N, P y K) son factores importantes en términos de producción de cultivos.

Según SANTIBÁÑEZ (2003), la materia orgánica del suelo se considera como el indicador más significativo de la calidad del suelo, siendo el componente más importante a seleccionar entre un grupo de datos mínimos y

necesarios para definir la calidad del suelo. La materia orgánica del suelo es fundamental para mantener la estructura del suelo, retener el agua necesaria y actuar como reserva nutritiva.

La reacción del suelo (pH) es un índice de la acidez, neutralidad o alcalinidad del suelo. Se representa mediante el logaritmo negativo de la concentración de H^+ expresada en moles por litro. El pH genera una escala numérica que va desde el 0 al 14. Cuando en una solución predominan los cationes de H^+ sobre los aniones OH^-, se dice que es ácida, es básica cuando predominan los OH^- y es neutra cuando se encuentran en concentraciones iguales (MARTINES, 2003).

Las formas minerales del nitrógeno en el suelo provienen generalmente de la descomposición de los residuos orgánicos de nitrógeno, materiales frescos orgánicos, abonos orgánicos, humus etc. Estas formas por lo general son nitrógeno amoniacal $N^-NH_4^+$ y nitrógeno nítrico $N^-NO_3^-$. Estos procesos biológicos y minerales ocurren debido a la influencia de los macro y microorganismos existentes en el suelo. La determinación de nitrógeno total en el suelo se realiza mediante el método Kjeldhal clásico o Kjeldhal modificado en algunas ocasiones (CALDERÓN, 1999).

La deficiencia del fósforo (P) en los suelos del trópico y subtrópico es un problema de reconocida importancia, cuya magnitud constituye una de las limitantes de mayor transcendencia en la producción de cosechas. El

fósforo total del suelo es provisto por el material parental o por el agregado de fertilizantes y abonos. La mayoría de los materiales parentales contienen principalmente fosfato de calcio los que se hidrolizan durante el desarrollo del suelo (ARZUAGA *et al.*, 2005).

Para analizar el potasio del suelo hay diferentes métodos que son utilizados en diferentes partes del mundo. Un importante método muy utilizado es el del ácido sulfúrico (ROLDÁN *et al.*, 2004).

CALDERÓN (1999) la determinación de la capacidad de intercambio catiónico de un suelo implica la saturación de dicha capacidad por medio del sodio, el lavado del exceso de sodio, (sodio soluble no Intercambiable) por medio del alcohol y la medida de dicha capacidad mediante extracción de todo el sodio con acetato de amonio y la lectura del sodio por absorción atómica.

2.2.3. Indicadores biológicos

Las propiedades biológicas del suelo son muy dinámicas por lo que tienen la ventaja de servir de señales tempranas de degradación o de mejoría de los suelos. CHEN (2000) recomienda como indicadores biológicos el carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana, el nitrógeno potencialmente mineralizable y la respiración edáfica. También se consideran como indicadores biológicos la población de lombrices de tierra y el rendimiento de los cultivos; así mismo, estos indicadores son valiosos en la interpretación de la

dinámica de la materia orgánica y en los procesos de transformación de los residuos orgánicos; además, dan rápida respuesta a los cambios en el manejo del suelo y muy sensibles al estrés ambiental Bandick y Dick (1999), citado por ACEVEDO *et al., (2005)*.

DELGADO *et al.* (1999) debido a la necesidad de estimar apropiadamente la biomasa microbiana, y a los problemas inherentes a la determinación por métodos directos, se ha dado mayor énfasis al empleo de métodos indirectos para la estimación de la biomasa microbiana, desarrollándose múltiples métodos. Entre los métodos indirectos, los más usados emplean la fumigación con cloroformo para la destrucción selectiva de la materia orgánica viva, sin alteración de la materia orgánica no-viva. En estos métodos, el carbono y nitrógeno provenientes del tejido muerto por fumigación puede ser obtenido por extracción directa con una solución salina, método Fumigación-Extracción (FE), para el carbono y en el caso del nitrógeno, o luego de un período de incubación (Fumigación-Incubación, FI).

Según HERNÁNDEZ *et al.* (1993), la tasa de emisión de dióxido de carbono por el suelo puede ser medida por el método del cilindro invertido y absorción en un álcali. El CO_2 absorbido se determina por doble titulación según el procedimiento descrito por los mismos autores.

2.3. Efectos de diferentes sistemas de uso en la calidad del suelo.

La evaluación de la calidad permite mejorar la respuesta de varios

recursos, como son: pérdida de suelo por erosión, depósitos de sedimento por viento o inundación, reducción de la infiltración e incrementos de lluvia, endurecimiento de la capa superficial, perdida de nutrientes, transporte de pesticidas, cambios en el pH, pérdida de materia orgánica, reducción de la actividad biológica y reducción de la calidad del agua (NRCS, 2004).

La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad, o salud, del suelo, deberán ser medidos todos los parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos, Por ejemplo, el test de CE para salinidad puede no ser útil en algunos sectores del país, donde la salinidad no es un problema (DORAN y LINCOLN, 1999).

El mejoramiento de la calidad de un suelo se percibe, en general, por aumento o disminución en el valor de algunas características. Por ejemplo, puede incrementarse la tasa de infiltración o de aireación, debido a un aumento de la cantidad de macro poros, a un mayor tamaño y estabilidad de la absorción en un álcali. El CO_2 absorbido se determina por doble titulación según el procedimiento descrito por los mismos autores.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

3.1.1. Ubicación de la investigación.

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los diferentes sistemas de uso de la tierra: cultivo permanente, cultivo anual, pastos y purma en el Centro de Investigación y Producción – Tulumayo de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Ubicado políticamente en el departamento de Huánuco, provincia de Leoncio Prado, distrito José Crespo y Castillo, sector Tulumayo, y ubicado geográficamente con coordenadas UTM (E: 398860 y N: 8997650); a una altitud de 636 m.s.n.m

3.1.2. Características ambientales:

La zona en estudio de acuerdo al mapa ecológico y el sistema de Holdridge (Figura 1), corresponde a la formación de bosque muy húmedo pre montano tropical (Bmh – pt), donde se desarrollan y cultivan especies de gran valor alimenticio, medicinales y comerciales (VILLOTA, 1991). Con precipitación pluvial promedio anual 3300 mm y temperatura media anual de 24 °C.

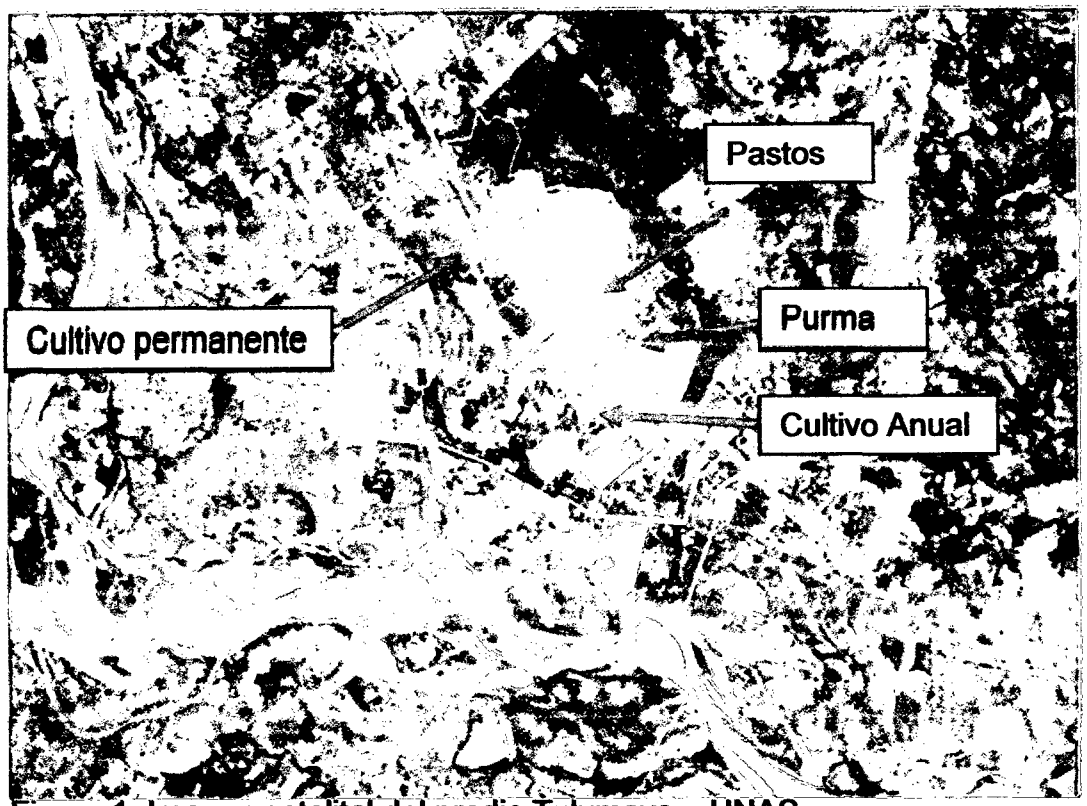

Figura 1. Imagen satelital del predio Tulumayo – UNAS

3.1.3. Suelos

Son suelos desarrollados de materiales aluviales antiguos, ubicadas en terrazas bajas, medias, plano de buen drenaje; moderadamente profundos, de drenaje y permeabilidad moderada, son de reacción moderadamente ácida a neutra, con alto contenido de materia orgánica en la superficie y bajo en los horizontes inferiores (1 - 2%), contenido medio de saturación de bases.

3.1.4. Geología

Son suelos oxisoles de perfiles maduros bien desarrollados y en menor grado por limonitas y lutitas en proceso de edafización avanzada; pero en las zonas con pendientes más suaves a plano, están constituidos por suelos

intrazonales, con material detrítico fino y/o grueso derivado de estas mismas rocas.

3.1.5. Fisiografía

Se caracteriza por su topografía plana con pendientes que varían entre 0 a 4%, las mismas que están conformadas por la llanura de inundación del río Huallaga y afluentes; están compuestas por sedimentos fluviónicos recientes, producto de la inundación periódica.

3.1.6. Geomorfología

Está representado por llanuras aluviales y fluviales, constituido en la margen derecha del río Huallaga. Comprende secuencias litológicas principalmente de naturaleza sedimentaria.

3.1.7. Accesibilidad

La vía de acceso principal a la zona de trabajo es a través de la carretera Fernando Belaunde Terry, vía asfaltada Tingo María – Aucayacu, a 30 minutos de recorrido en vehículo motorizado.

3.1.8. Materiales y equipos

a. Materiales de campo

Mapa de ubicación de la zona de trabajo, wincha, tarjetas de campo, balde de plástico de 5 lt., bolsas plásticas, etiquetas de papel, papel aluminio, cilindro de aluminio de 3" de diámetro, cilindro de plástico de 6" de

diámetro, envases de vidrio de 100 ml, alambre de aluminio, botellas plásticas de 3000 ml, probeta de 100 ml, martillo, bloque de madera, machete, pala derecha, tubo de muestreo de suelos.

b. Materiales de laboratorio

Probeta de 100 ml, tubos de ensayo, pipetas, placa petri, aza colle, tamiz de 5.2 y 0.25 mm de diámetro, desecador de cristal de vacío, bomba de vacío, incubador, botellas de vidrio, bureta, agitador magnético

c. Equipos de campo

Termómetro de suelo, cronometro, penetrometro, cámara fotográfica, gps.

d. Equipos de laboratorio

Balanza gramera, estufa, pH metro, espectrofotómetro de absorción atómica

e. Reactivos

Agua destilada, hidróxido de sodio 1 M (NaOH), cloroformo libre de etanol ($CHCl_3$), ácido clorhídrico 0.1 y 1 M (HCl), fenolftaleína, etanol, solución de Hexametafosfato de sodio al 10%.

3.2. Métodos

3.2.1. Disposición experimental

Para la ejecución del presente trabajo de investigación, se adoptó un diseño Descriptivo Correlacional, considerándose cuatro sistemas de uso del suelo:

- Bosque secundario (purma de 15 años)
- Pasturas (Pasto brisanta)
- Cultivo permanente (cítricos)
- Cultivo anual (maíz - *Zea maíz*)

Para el método de muestreo y evaluación de los diferente sistemas de uso, se ha considerado la "metodología de evaluación de calidad de suelo" recomendada por John Doran y Lincoln Nebraska del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA) y la metodología utilizada por Gustavo Moscatelli y Vicente Nakama del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA); en el cual, consideran la repetición de tres muestras por cada sistema de manejo a una profundidad de 30 cm de la superficie del suelo.

Para determinar la calidad de los suelos en los diferentes sistemas de uso, se ha evaluado los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo con sus respectivos indicadores y los métodos de su determinación, considerados de acuerdo a la zona en estudio.

Cuadro 1. Indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de suelos

PROPIEDADES DEL SUELO	
Indicadores físicos	**Método de su determinación**
Textura del suelo	Método del hidrómetro de Bouyoucos
Estructura (tipo, tamaño y grado)	Observación directa (Clasificación de suelos)
Estabilidad de agregados	Método del tamiz
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco al horno
Profundidad efectiva	Método directo (wincha)
Infiltración	Método del cilindro infiltrómetro
Capacidad de retención de agua	Por peso húmedo y seco al horno
Temperatura del suelo	Método directo (termómetro)
Resistencia a la penetración	Método directo (penetrómetro)
Indicadores químicos	
Materia orgánica (C y N orgánico)	Método de Walkley y Blak
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Nitrógeno Total	Método de Kjeldahl
Fósforo disponible	Método de Olsen
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico
Capacidad de intercambio catiónico	Método del Acetato
Indicadores biológicos	
Biomasa microbiana (C y N)	Fumigación-Incubación (Jenkinson Polwlson-1976)
Respiración edáfica (CO_2)	Absorción Estática de Anderson (1982) y Alef (1995)
Número de lombrices	Directo por conteo

Fuente: DORAN y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005)

3.2.2. Etapa de pre – campo

Dentro de esta etapa, se realizó una recopilación de toda la información necesaria del área en estudio; así como información de suelos, sistemas de uso que se vienen dando en el área, mapa base del área, material cartográfico y un reconocimiento general de toda el área donde se han fijado

los puntos de muestreo para su respectiva evaluación; así mismo, se han separado los indicadores que serán evaluados directamente en campo y los indicadores que serán evaluados en laboratorio.

3.2.3. Etapa de campo

En esta etapa, con el mapa base de la zona, se ha realizado la fijación del primer punto con el GPS en el sistema de uso de los cultivos anuales; en el cual, se procedió a determinar los indicadores físicos, químicos y biológicos directamente en campo.

a. Indicadores físicos

- **Textura.-** Se utilizó el Método Bouyoucos, metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli et al. (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Se tomó 50 g. de suelo seco y tamizado y se llevó a un vaso dispersante; en el cual se agregó 15 ml de dispersante ($NaPO_3$) al 10% y agua destilada los ¾ del vaso; luego se colocó a un dispersador eléctrico de 200 rpm para ser agitado por un tiempo de 15 minutos. Se llevó a una probeta de sedimentación a 1000 ml, se dio una breve agitación y se tomó la lectura con el hidrómetro de Bouyoucos y temperatura a los 40 segundos; luego se repitió la lectura de densidad y temperatura a las 2 horas.

- **Estructura.-** Para la identificación del tipo de estructura se realizó por el método de observación directa (clasificación directa), metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli et al. (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Para la identificación del tipo de estructura, se realizó una calicata

de 0.8 x 1.00 x 1.20 m de profundidad; en el cual se determinó el tipo de estructura, tamaño y grado de los agregados o "peds" a través de la observación directa en cada uno de los horizontes en toda la profundidad efectiva del mismo, los resultados fueron anotados en la cartilla de clasificación de suelos.

- **Estabilidad de agregados.-** Para la determinación de la estabilidad de los agregados se utilizó el método del Tamiz, metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005), se recolectó una muestra de suelo en campo de aproximadamente 300 gr.; el cual fue secado al aire libre. Posteriormente se tamizó 100 gramos del suelo por un tamiz de 2 mm tratando de hacer pasar todo el suelo por el tamiz, luego se pesó el tamiz de 0.25 mm y su valor se ingresó en la hoja de trabajo, seguidamente se tomó una sub-muestra de 10 g de suelo tamizado para incorporar hacia un tamiz de 0.25 mm; luego se procedió a humedecer un retazo de tela de 0.6 x 0.6 m; el cual se le puso sobre una mesa plana; luego se llenó un recipiente con agua destilada en el cual, se introdujo el tamiz con la muestra de suelo haciendo unas 30 oscilaciones de remojo por minuto, por un periodo de 3 minutos; luego se secó la muestra empleando la intensidad mínima en un aparato secador; se dejó enfriar la muestra por 5 minutos, luego se pesó el tamiz que contiene los agregados y se registró en la hoja de trabajo; Luego se sumergió el tamiz con la muestra en una solución de calgón (RDTA) por 5 minutos moviendo periódicamente el tamiz hacia arriba y abajo, quedando únicamente solo la arena en el tamiz; esto fue lavado con agua

destilada y nuevamente sometida al aparato secador; una vez seco toda la arena, se pesó el tamiz con la arena y los valores fueron ingresados en la hoja de trabajo para ser reemplazados en la siguiente fórmula:

$$Agregados\ estables\ (\%\ suelo > 25\ mm) = \left(\frac{Peso\ de\ agregados\ secos - arena}{Peso\ de\ suelo\ seco - arena} \right) x\ 100 \quad (1)$$

- **Densidad aparente.-** Para llevar a cabo la determinación de densidad aparente, se utilizó el método de volumen, peso húmedo y seco al horno descrito por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Se cogió un cilindro metálico de 3" de diámetro; el cual, fue introducido en la parte superficial del suelo cubriéndolo por completo; esta muestra fue trasladado al laboratorio y pesado en húmedo, luego se sometió a la estufa por 24 horas a 105 °C, posteriormente se pesó en seco y los datos tanto de peso húmedo, peso seco y volumen del cilindro fueron ingresados en la siguiente fórmula:

$$Densidad\ aparente\ del\ suelo\ \left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{Peso\ del\ suelo\ secado\ en\ el\ horno}{Volumen\ del\ suelo} \quad (2)$$

- **Profundidad efectiva.-** Se empleó el método directo (wincha), descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). En la calicata realizada para la determinación de estructura, se hizo la medición con wincha en todo el perfil del suelo hasta la profundidad del primer horizonte donde se desarrollan las raíces.

- **Infiltración.-** Para la determinación de este indicador se utilizó el método del cilindro infiltrometro, descrito por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Un cilindro de plástico de 6" de diámetro, el cual se introdujo a una profundidad de 5 cm en la superficie del suelo al costado de la calicata; este cilindro fue cubierto con una envoltura de plástico en su parte interna, en el cual se agregó 500 ml de agua; luego se retiró el plástico con mucho cuidado dejando el agua dentro del anillo e inmediatamente se registró el tiempo que demora en penetrar el volumen de agua; el valor registrado se anotó en la hoja de trabajo.

- **Capacidad de retención de agua.-** Se realizó por el método de peso húmedo y seco al horno, según la metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Se pesó 20 gr de suelo seco y tamizado a 2 mm, y se llevó a un embudo con papel filtro; en el cual se agregó 50 ml de agua destilada, con la finalidad de saturar la muestra de suelo; el exceso de agua que pasa a través del suelo se recogió en una probeta graduada, cuyo valor se reemplazó en la fórmula de máxima capacidad de retención de agua.

- **Temperatura del suelo.-** Método directo (termómetro) metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005), se introdujo el termómetro en forma horizontal a 12 cm de la superficie del suelo.

- **Resistencia a la penetración.-** Se realizó mediante el método directo, según la metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). La varilla metálica del penetrómetro fue introducida en forma vertical a una profundidad de 3 cm desde la superficie del suelo.

b. Indicadores químicos:

- **Materia orgánica.-** Método de Walkley y Blak, descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Se pesó dos muestras de suelo, 2 g cada uno en dos crisoles, se registró el peso y se introdujo en la mufla a 600 °C por 2 horas, terminada la calcinación, se trasladó los crisoles al desecador, para ser pesados y registrados nuevamente.

Cálculos:

$$\text{Materia orgánica} = \frac{A - B \times 100}{A}$$

Donde:

A = peso muestra

B = peso muestra calcinada a 600 ° C

- **Reacción del suelo.-** Método del potenciómetro, metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Se pesó los 30 g de suelo en pasta saturada y

agregaron 60 ml de agua destilada, el cual se agitó con una varita de vidrio durante una hora y se hizo la lectura directa con el potenciómetro.

Cálculos: El equipo da la lectura directa del pH.

- **Nitrógeno total.-** Método Kjeldahl, descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Se pesó 5 g de suelo en un matraz Kjeldahl, y se arrastró la muestra con 20 ml de agua destilada se añadió 20 ml de H_2SO_4 2 pastillas de catalizador Kjeldahl y unas bolitas de vidrio (para evitar que la ebullición sea violenta), para proceder al ataque de la muestra. Se calculó hasta que la disolución quede blanca; el nitrógeno se transformó en sulfato amónico, luego se hizo la destilación. Una vez fría la disolución, se añadió 25 ml de agua destilada, unas gotas de fenolftaleína y se agregó solución concentrada de NaOH hasta que el contenido del matraz tome color rosa persistente, es decir, hasta que se neutralice, con cuidado de que no haya pérdidas de amonio por evaporación. Se procedió a destilar, recogiendo los gases desprendidos, sobre un Erlenmeyer de 500 ml que contenía 15 cc de HCl 0,1N y 5 gotas de indicador shiro-tashiro, hasta obtener unos 300ml de disolución y se valoró por retroceso la disolución obtenida, con NaOH 0,1N exactamente valorada, hasta viraje del indicador de violeta a verde, anotando los ml. gastados (V).

Cálculos:

- % N_2 total = (V''-V) x 0,028
- V = ml de NaOH gastados por la muestra.

- V" = ml de NaOH gastados por el blanco

- **Fósforo disponible:** Método de Olsen, metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Patrón de 120 ppm de fósforo (P), se diluyó 6 ml de la solución anterior a 50 ml, usando CO_3HNa 0.5 n. Patrón de 12 ppm de fósforo (P) se diluyó la solución anterior 10 veces usando CO_3HNa. Los patrones contienen 0,15, 0,30, 0,45, 0,6 ppm de fósforo (P). Luego tomar 5 ml de filtrado, colocarlos en un erlenmeyer de 50 ml, se añadió 15 ml de reactivo (Molibdato antimónico). Se agitó para expulsar el CO_2 y se hizo la lectura al cabo de 15 minutos en el espectrofotómetro de absorción atómica, el cual nos da en ppm.

- **Potasio disponible.-** Método del Ácido sulfúrico, método descrito por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005), se pesó 5 gr de suelo y se agregó 25 ml de ácido sulfúrico 6N, se agitó 15 minutos y luego se procedió a filtrar. De este filtrado se hizo diluciones en tubo de ensayo 1/10, 1/100, 1/1000 y se realizó la lectura en el espectrofotómetro de adsorción atómica.

- **Capacidad de intercambio catiónico.-** Método del Acetato, metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO et al. (2005). Se tomó 5 g de suelo, se agregaron 100 ml de acetato de sodio 1N, se agitó durante una (1) hora y se procedió a filtrar (papel Whatman nº 42). El residuo se lavó cinco (5) veces con Etanol, se dejó secar

durante 24 horas. Una vez seco se agregó 100 ml de acetato de amonio 1N y neutro, se agitó durante una (1) hora y se procedió a filtrar (papel de filtro Whatman nº 42). Del filtrado se tomó 1 ml. más 8.8 ml de acetato de amonio y 0.2 ml de óxido de lantano al 5%, se procedió hacer la lectura de los cationes Ca, K, Mg y Na en el espectro fotómetro de absorción atómica.

Cálculos:

CIC = (Ca + K + Mg + Na) meq/100 g de suelo

c. Indicadores biológicos

- **Biomasa microbiana.-** Se realizó mediante el método de Fumigación – Incubación, metodología descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Se cogió una bandeja de tierra a una profundidad de 10 cm, que fue secado al aire libre y luego tamizado por una malla de 2 mm y homogenizado.

1.Tamizado.- Para la realización de este método, se pesó 6 muestras de suelo de 50 gr; en este caso, Tres de ellas se utilizaron para el proceso de fumigación, mientras que las otras tres nos sirvieron de controles; y se colocaron en papel filtro; en los cuales, se les humedeció al 45% de su máxima capacidad de retención de agua.

2. Desecador de vacío con cloroformo.- En un desecador de vacío introducimos las tres muestras de suelo (las que son para fumigar), en el cual se ha dispuesto un vaso de precipitado con 25 ml de cloroformo, libre de

etanol. El cloroformo lo que hará es que los seres vivos que se encuentran en la muestra problema se mueran; a su vez, las tres muestras controles también fueron introducidos en otro desecador, pero sin cloroformo.

3. Incubación.- Una vez realizado lo anterior, se metió (con desecador incluido) las muestras controles y pruebas en una estufa durante 24 horas a 25 °C en plena oscuridad.

4. Evacuación del cloroformo.- Las muestras que han sido fumigadas y que han permanecido durante un día en incubación, se conectaron a una bomba de vacío para la evacuación del olor del cloroformo. A las muestras controles este proceso no fue necesario al no contener cloroformo en su desecador.

5. Inoculación e incubación.- Las muestras de suelo fumigadas y las no fumigadas, se inocularon con 1 gr. de suelo no fumigado; luego fueron transferidos cada uno de ellos a unos vasos de precipitados (tanto las muestras fumigadas como los controles), en tarros herméticos para que en el proceso de incubación no se vaya nada de la micro atmósfera creada en el interior. En estos tarros herméticos se introdujeron 10 ml de agua destilada en el fondo del tarro y en dos vasos de precipitado las muestras problema y 20 ml de NaOH 1M que su función es la de atrapar el CO_2 expulsado por la muestra, para una posterior medición del C del mismo. Estos botes herméticos se

vuelven a introducir en la estufa durante 10 días a 25 °C. Este proceso se realizó tanto en las muestras fumigadas como en los controles.

6. Determinación del carbono.- Una vez transcurrido el paso anterior, se retiraron los botes herméticos de la estufa y se procedió a la medición del carbono en las soluciones de NaOH 1M; para poder llegar a determinar la actividad microbiana del suelo.

Para ello se tomó una alícuota de 5 ml de NaOH 1M (que ha atrapado el CO_2 expulsado de la micro atmósfera de los tarros) y se combinó con 20 ml de H_2O destilada; la primera valoración se realizó con HCl 1M y se llevó la muestra de NaOH a pH 10 utilizando el agitador magnético, la bureta y el pH-metro.

La segunda valoración fue llevar la disolución problema con HCl 0,1M a pH = 8,3 (con la misma técnica explicada anteriormente); la tercera y última valoración fue llevar la disolución de pH = 8,3 con HCl 0,1M a pH = 3,7; se anotaron los valores de gasto y se realizaron los cálculos a través de la siguiente fórmula:

$$C - CO_2(ug\ C * g^{-1}\ suelo) = \frac{(S-B) * M * Pm * V}{G} \quad (3)$$

Donde:

S = Volumen (ml) de HCl 0,1M gastado en las muestras de suelo para llevar el pH de la disolución de sosa desde 8.3 hasta 3.7

B = Volumen (ml) de HCl 0,1M gastado en los blancos para llevar el pH de la disolución de sosa desde 8.3 hasta 3.7.

M = Molaridad exacta de la disolución de HCl 0,1M.

Pm = Peso atómico del C (12).

V = Factor relativo a la dilución, y representa la relación entre el volumen total de la solución de NaOH y volumen de la alícuota usada la valoración (en este caso 4= 20/5)

G = Factor relativo al suelo seco usado en la experiencia, en g

- **Respiración edáfica.-** Por el método de absorción estática de Anderson, descrita por DORAN Y LINCOLN, (1999); Moscatelli *et al.* (2000); ACEVEDO *et al.* (2005). Para la valoración de la disolución de NaOH traído directamente del campo, se las añadió 5 gotas de fenolftaleína como indicador ácido base y se realizó su respectiva valoración con HCl 1M, utilizando la bureta de 50 ml. Durante la valoración se fue removiendo la disolución hasta observar el punto de viraje, el gasto de la valoración se reemplazó en la siguiente fórmula:

Donde:

$$C - CO_2 = \frac{(B - S) * M * 6}{A}$$

B = Volumen medido (ml) de HCl empleado en la valoración de la disolución de NaOH.

S = Volumen (ml) de HCl empleado en la valoración de la disolución de NaOH problema.

M = Molaridad exacta de HCl utilizado en la valoración.

6 = Factor de conversión, considerando que 1 ml de NaOH 1M, equivale a 6mg de C-CO_2.

A = Superficie (m^2) abarcada por la botella de plástico instalado en el campo

- **Número de lombrices.-** Método directo, Doran y Lincol (1999). Se realizó una excavación de 30 x 30 x 30 cm de profundidad con una pala derecha; en el cual se pudo examinar la cantidad de lombrices; se separó para el conteo total de las lombrices encontradas en la muestra de suelo, cuyo valor se registró en la hoja de trabajo.

3.2.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico, se utilizó el diseño completamente al azar y la prueba de Duncan (CALZADA 1976).

IV. RESULTADOS

4.1. Indicadores físicos

4.1.1. Textura del suelo

La textura del suelo hallado en los cuatro sistemas de uso del predio Tulumayo (Cuadro 2), encontramos que en la purma la textura de suelo predominante es el franco arcilloso, en el pastura el franco, en el cultivo anual el franco arcilloso limoso y en el cultivo permanente el franco.

Cuadro 2. Textura del suelo encontrada en cuatro sistemas de uso purma, pastura, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Purma	Pastura	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
Fco–Arcilloso	Franco	Fco-Arc-Limoso	Franco
Franco	Franco	Fco-Arc-Limoso	Fco-Limoso
Fco–Arcilloso	Fco–Arcilloso	Fco - Limoso	Franco

4.1.2. Estructura (tipo, tamaño y grado)

La estructura del suelo hallado en los cuatro sistemas de uso del predio Tulumayo (Cuadro 3), se observa que para cada sistema de uso, la estructura varia en las diferentes muestras encontrándose: granular medio,

bloque fino, bloque medio, granular, granular fino, granular fino - medio, granular fino - débil.

Cuadro 3. Estructuras del suelo hallado en cuatro sistemas de uso purma, pastura, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Purma	Pastura	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
G. Medio	G. Medio	Granular	Granular - Fino a Medio
Bloque Fino	G-Fino-Débil	Granular Fino a Medio	Granular Medio
Bloque Medio	Granular Fino	Granular Medio	Granular Fino

4.1.3. Estabilidad de agregados

El porcentaje de estabilidad de agregados (Cuadro 4 y Figura 2), encontramos que la purma tuvo el mayor promedio con 65.63% seguido del cultivo permanente 57.53%, pasto 57.03% y con menor promedio el cultivo anual 50.30%.

Cuadro 4. Porcentaje de estabilidad de agregados hallados en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo

Nº Muestra	Purma	Pastura	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	62.00	60.50	44.90	53.20
2	71.00	57.20	53.10	57.60
3	63.90	53.40	52.90	61.80
Promedio	65.63	57.03	5030	57.53
Cv.			0.11	

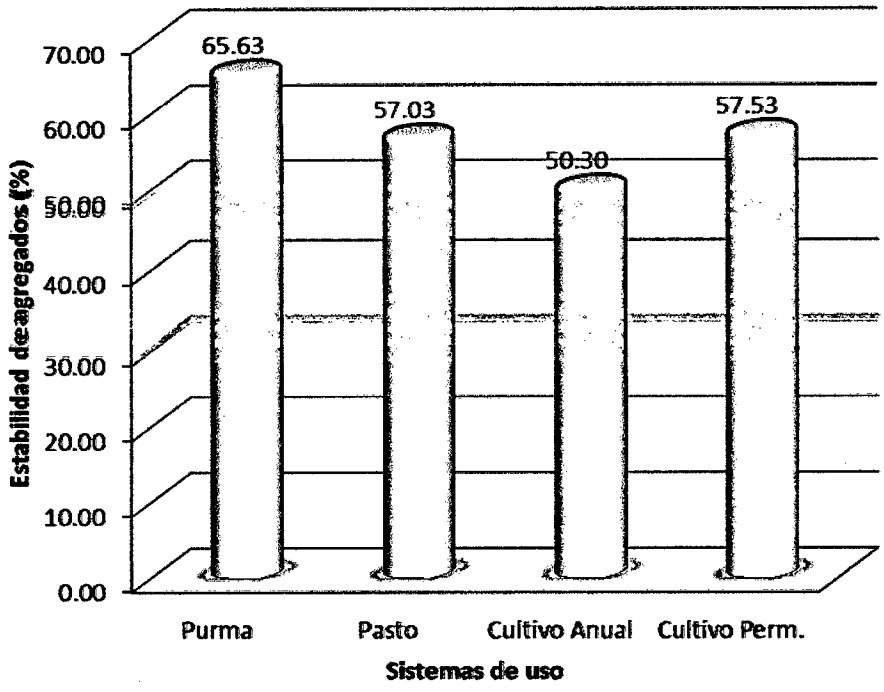

Figura 2. Porcentaje de estabilidad de agregados en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS.

El análisis de variancia de estabilidad de agregados entre los sistemas de uso (Cuadro 5), tenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 5. Análisis de variancia de estabilidad de agregados entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	354.44	3.00	118.15	6.26	3.59	*
Error	151.00	8.00	18.87			
Total	505.44	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad en el porcentaje de estabilidad de agregados (Cuadro 6), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística para los sistemas de uso, cultivo permanente (57.53 %) y pastura (57.03 %), existiendo significación estadística para los sistemas de cultivo anual (50.53%) y purma (65.63 %)

Cuadro 6. Prueba de Duncan α= 0.05, de Porcentaje de estabilidad de agregados en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (%.)	Significación
1	Purma	65.63	a
2	Cultivo permanente	57.53	b
3	Pastura	57.03	bc
4	Cultivo anual	50.30	c

4.1.4. Densidad aparente

La densidad aparente del suelo (Cuadro 7 y figura 3), encontramos que el cultivo anual tuvo el mayor promedio con 1.23 g/cm^3 seguido del pastura 1.15 g/cm^3, cultivo permanente 1.01 g/cm^3 y con menor promedio la purma con 0.89 g/cm^3.

Cuadro 7. Densidad aparente (g/cm^3) del suelo en los cuatro sistemas de uso purma, pastura, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pastura	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	0.91	1.28	1.25	1.08
2	0.84	1.1	1.24	1.01

Cuadro 7. (Continuación...)

3	0.91	1.09	1.21	0.96
Promedio	0.89	1.15	1.23	1.01
Cv		0.14		

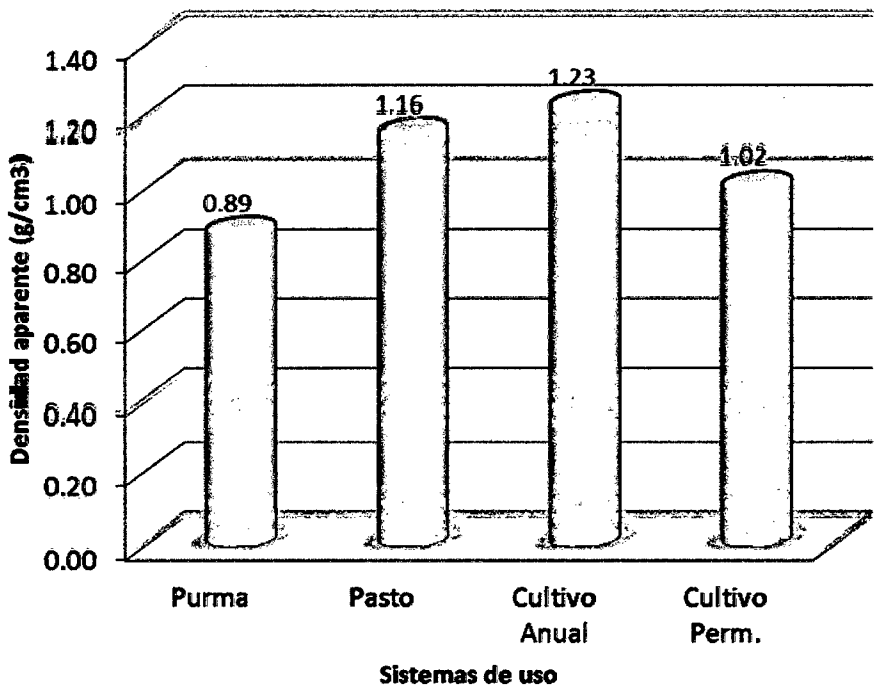

Figura 3. Densidad aparente en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS.

El Cuadro 8 muestra el análisis de variancia de la densidad aparente del suelo entre los sistemas de uso, lo cual existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente)

Cuadro 8. Análisis de variancia de la densidad aparente entre los sistemas de uso

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	0.21	3.00	0.07	15.98	3.59	*
Error	0.03	8.00	0.00			
Total	0.24	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad en la densidad aparente (Cuadro 9), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo anual (1.23) y pastura (1.15), cultivo permanente (1.01) y purma (0.89), existiendo significación estadística entre cultivo anual y purma.

Cuadro 9. Prueba de Duncan α= 0.05 de la densidad aparente en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (g/cm^3.)	Significación
1	Cultivo anual	1.23	a
2	pastura	1.15	ab
3	Cultivo permanente	1.01	b
4	Purma	0.89	bc

4.1.5. Profundidad efectiva

La profundidad efectiva del suelo (Cuadro 10 y Figura 4), encontramos que el cultivo anual tuvo el mayor promedio con 115 cm, seguido de pastura 105,00

cm, purma 90,00 cm y con menor promedio el cultivo permanente con 80. 00 cm.

Cuadro 10. Profundidad efectiva (cm) del suelo halladas en cuatro sistemas de uso purma, pastura, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pastura	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	75.00	110.00	115.00	85.00
2	90.00	85.00	135.00	80.00
3	105.00	120.00	95.00	75.00
Promedio	90.00	105.00	115.00	80.00
Cv			0.16	

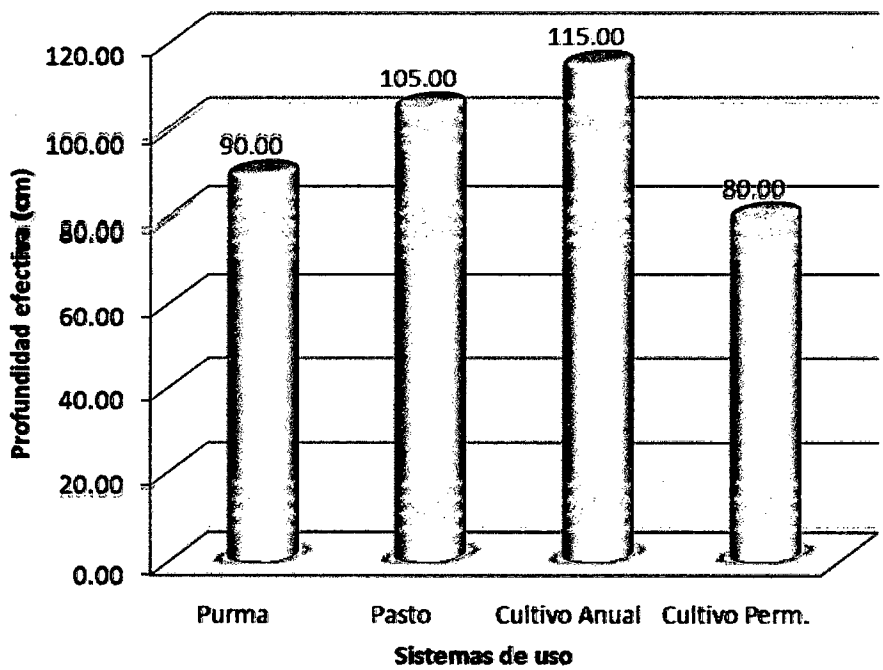

Figura 4. Profundidad efectiva en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS.

El análisis de variancia de la profundidad efectiva del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro1), obtenemos como resultado que no existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 11. Análisis de variancia de la profundidad efectiva entre los sistemas de uso

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	2175.00	3.00	725.00	2.97	3.59	NS
Error	1950.00	8.00	243.75			
Total	4125.00	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad de la profundidad efectiva (Cuadro 12), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo anual (115.00) y pastura (105.00), existiendo significación estadística entre cultivo anual y cultivo permanente.

Cuadro 12. Prueba de Duncan $\alpha = 0.05$, de la profundidad efectiva en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (cm.)	Significación
1	Cultivo anual	115.00	a
2	Pastura	105.00	ab
3	Purma	90.00	b
4	Cultivo permanente	80.00	bc

4.1.6. Infiltración

La infiltración del suelo (Cuadro 13 y Figura 5), encontramos que el cultivo anual tuvo el mayor promedio con 10.78 cm/h seguido del cultivo permanente 4.19 cm/h, purma 2.84 cm/h y con menor promedio el cultivo pastura con 0.53 cm/h.

Cuadro 13. Infiltración del suelo (cm/h) halladas en cuatro sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual y cultivo permanente)

Nº	Purma	Pastura	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	2.34	0.52	7.62	6.09
2	3.24	0.61	13.85	2.67
3	2.93	0.47	10.88	3.81
Promedio	2.84	0.53	10.78	4.19
Cv			0.96	

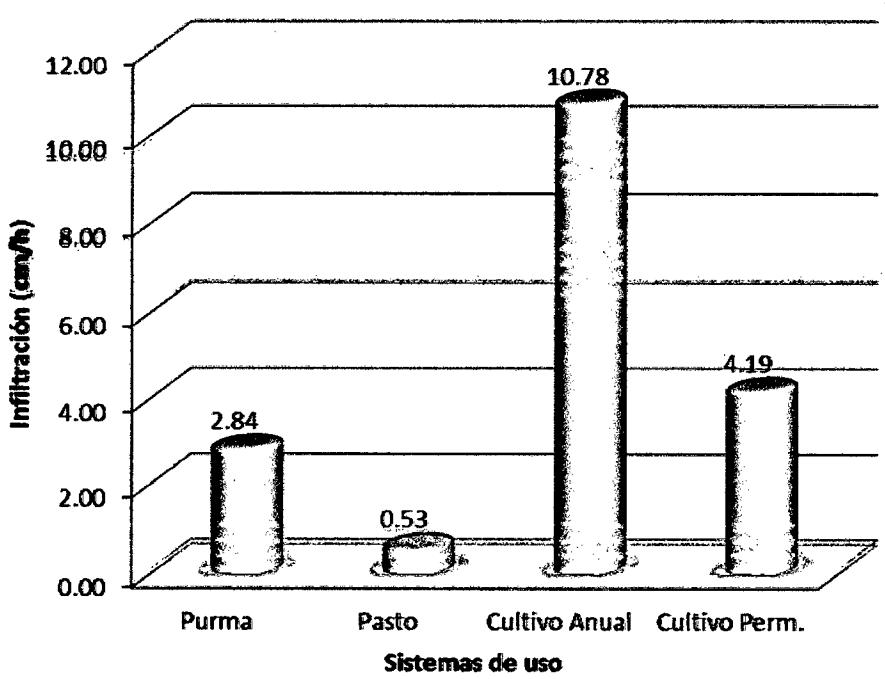

Figura 5. Infiltración en los cuatro sistemas de uso del suelo

El análisis de variancia de la infiltración del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 14), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 14. Análisis de variancia de la infiltración del suelo entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	174.14	3.00	58.05	17.92	3.59	*
Error	25.91	8.00	3.24			
Total	200.06	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad de la infiltración del suelo (Cuadro 15), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo anual (10.78), cultivo permanente (4.19), purma (2.84) y pastura (0.53).

Cuadro 15. Prueba de Duncan $\alpha = 0.05$, de la infiltración del suelo en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (cm/h.)	Significación
1	Cultivo anual	10.78	a
2	Cultivo permanente	4.19	b
3	Purma	2.84	c
4	Pastura	0.53	d

4.1.7. Capacidad de retención de agua

La capacidad de retención de agua del suelo (Cuadro 16 y Figura 6), encontramos que el cultivo anual tuvo el mayor promedio con 82.50% seguido de purma 79.17% y con menor promedio los sistemas cultivo permanente y pastura con 74.17%.

Cuadro 16. Porcentaje de capacidad de retención de agua del suelo halladas en cuatro sistemas de uso purma, pastura, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pastura	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	80.00	72.50	85.00	70.00
2	77.50	75.00	82.50	80.00
3	80.00	75.00	80.00	72.50
Promedio	79.17	74.17	82.50	74.17
Cv.			0.05	

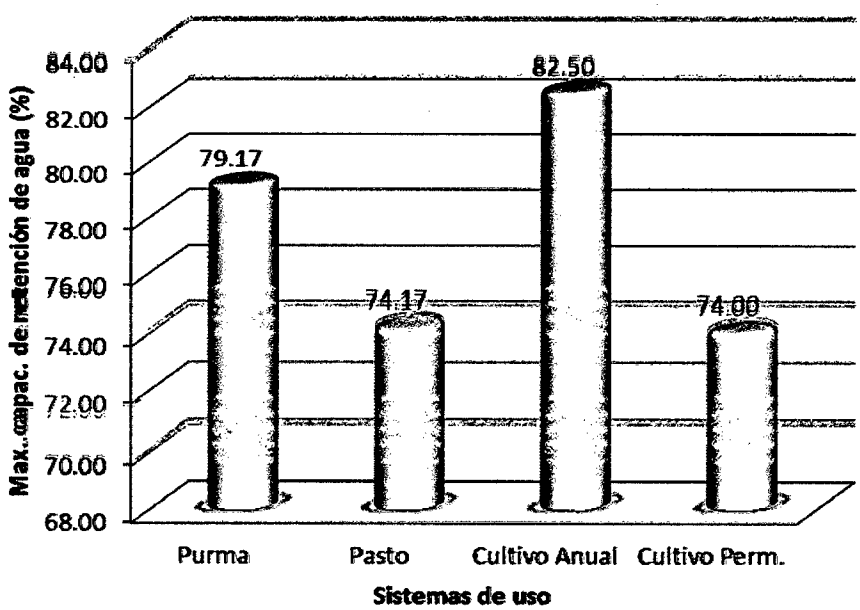

Figura 6. Porcentaje de capacidad de retención de agua en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS

El análisis de variancia de la capacidad de retención de agua del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 17), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pasto, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 17. Análisis de variancia de la capacidad de retención de agua entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	150.00	3.00	50.00	5.33	3.59	*
Error	75.00	8.00	9.38			
Total	225.00	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad de la capacidad de retención de agua del suelo (Cuadro 18), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo una pequeña significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo anual (82.50) y purma (79.17) y no existiendo diferencia entre pastura y cultivo permanente (74.17).

Cuadro 18. Prueba de Duncan α= 0.05, del Porcentaje de capacidad de retención de agua en la evaluación del experimento

Nº	Sistemas de uso	Promedio (%.)	Significación
1	Cultivo anual	8250	a
2	Purma	79,17	ab
3	Pastura	74,17	b
4	Cultivo permanente	74,17	b

4.1.8. Temperatura del suelo

La temperatura del suelo (termómetro), de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 19 y figura 7), encontramos que pasturas tuvo el mayor promedio con 28.83 °C seguido del cultivo anual 27.37 °C, cultivo permanente 26.13 °C y con menor promedio purma con 26.00 °C.

Cuadro 19. Temperatura del suelo (°C) halladas en cuatro sistemas de uso purma, pastura, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

N° Muestra	Purma	Pastura	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	26.00	29.00	28.40	25.40
2	26.00	29.00	26.70	26.50
3	26.00	28.50	27.00	26.50
Promedio	26.00	28.83	27.37	26.13
Cv.			0.05	

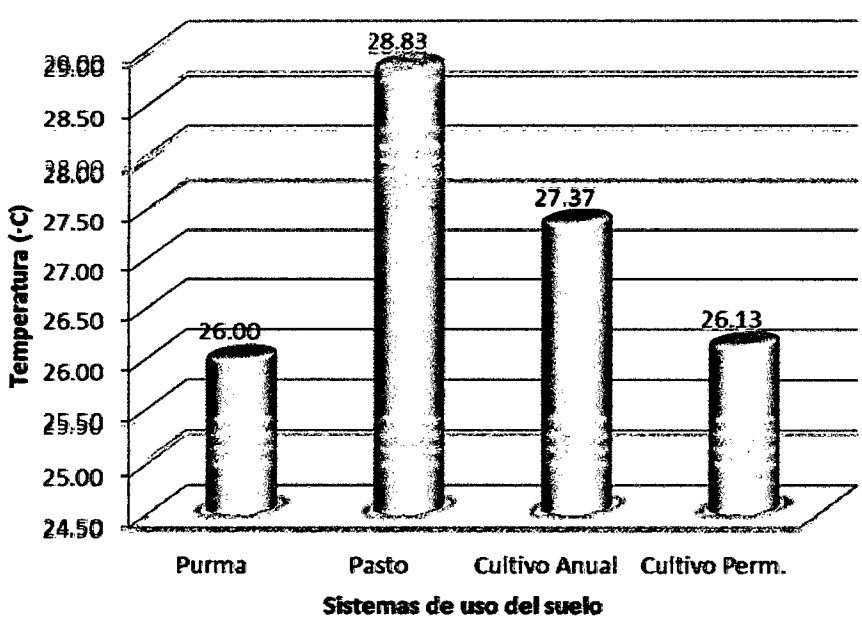

Figura 7. Temperatura del suelo en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS

El análisis de variancia de la temperatura del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 20), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 20. Análisis de variancia de la temperatura del suelo entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	15.66	3.00	5.22	15.94	3.59	*
Error	2.62	8.00	0.33			
Total	18.28	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad de la temperatura del suelo (Cuadro 21), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo una pequeña significación estadística entre los sistemas de uso, pasturas (28.83) y cultivo anual (27.37) no existiendo diferencias entre cultivo permanente (26.13) y purma (26.00).

Cuadro 21. Prueba de Duncan α= 0,05, de la temperatura del suelo en la evaluación del experimento

Nº	Sistemas de Uso	Promedio (°C.)	Significación
1	Pasturas	28.83	a
2	Cultivo anual	27.37	ab
3	Cultivo permanente	26.13	b
4	Purma	26.00	b

4.1.9. Resistencia a la penetración.

La resistencia a la penetración del suelo, de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 22 y Figura 8), encontramos que el cultivo permanente tuvo el mayor promedio con 2.00 Kg/cm^2 seguido del cultivo anual 1.92 Kg/cm^2, 1.13 Kg/cm^2 y con menor promedio purma con 0.95 Kg/cm^2.

Cuadro 22. Resistencia a la penetración (Kg/cm^2) hallada en cuatro sistemas de uso de suelo del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pasturas	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	1.00	1.15	1.75	2.25
2	0.95	1.25	2.15	2.00
3	0.90	1.00	1.85	1.75
Promedio	0.95	1.13	1.92	2.00
Cv.			0.36	

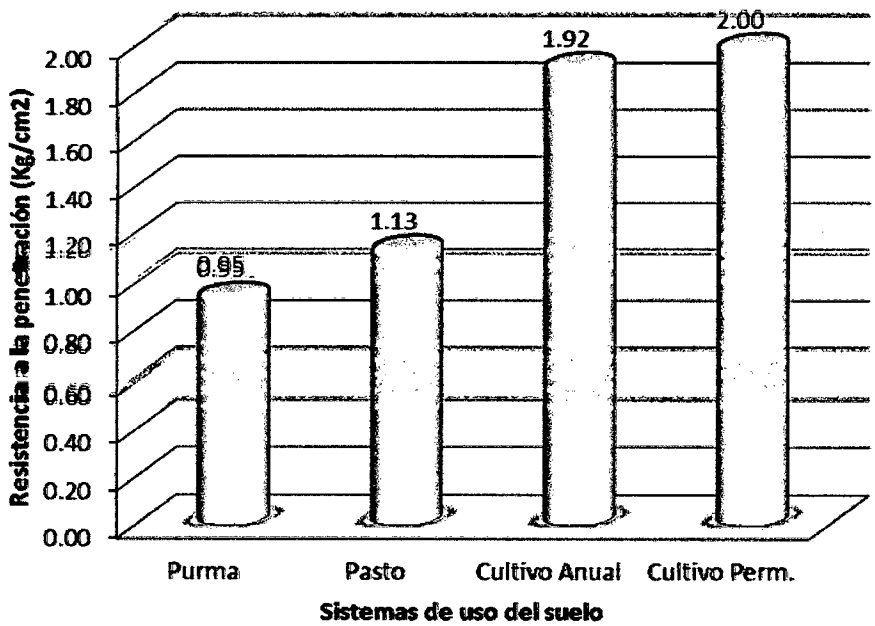

Figura 8. Resistencia a la penetración en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS

El análisis de variancia de la resistencia a la penetración del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 23), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 23. Análisis de variancia de la resistencia a la penetración entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	2.58	3.00	0.86	27.72	3.59	*
Error	0.25	8.00	0.03			
Total	2.83	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad de la resistencia a la penetración del suelo (Cuadro 24), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo permanente (2.00) y cultivo anual (1.92) y existiendo diferencia significativa entre cultivo permanente (2.00) y purma (0.95).

Cuadro 24. Prueba de Duncan $\alpha = 0,05$, de la resistencia a la penetración en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (Kg/cm^2.)	Significación
1	Cultivo permanente	2.00	a
2	Cultivo anual	1.92	ab
3	Pasturas	1.13	b
4	Purma	0.95	bc

4.2. Indicadores químicos

4.2.1. Materia orgánica (C y N orgánico)

El porcentaje de materia orgánica del suelo, de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 25 y figura 9), encontramos que la purma tuvo el mayor promedio en materia orgánica con 3.57% seguido del cultivo permanente 2.77%, pasturas 2.40 y con menor promedio el cultivo anual con 1.80%.

Cuadro 25. Porcentaje de materia orgánica hallada en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pastura	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	2.50	2.80	2.10	4.20
2	4.40	2.10	1.40	1.70
3	3.80	2.30	1.90	2.40
Promedio	3.57	2.40	1.80	2.77
Cv			0.28	

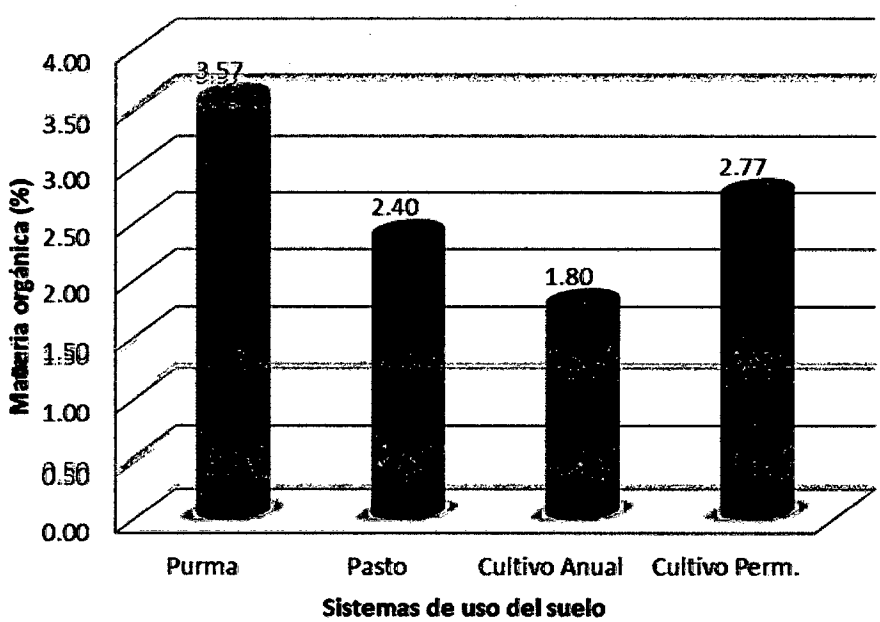

Figura 9. Porcentaje de materia orgánica en cuatro sistemas de uso del suelo.

El análisis de variancia de la materia orgánica del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 26), obtenemos como resultado que no existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 26. Análisis de variancia de la materia orgánica (C y N orgánico) entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	4.91	3.00	1.64	2.29	3.59	NS
Error	5.73	8.00	0.72			
Total	10.65	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad del porcentaje de materia orgánica del suelo (Cuadro 27), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, purma (3.57), cultivo permanente (2.77), pasturas (2.40) y cultivo anual (1.80).

Cuadro 27. Prueba de Duncan $\alpha = 0.05$, de materia orgánica en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (%.)	Significación
1	Purma	3.57	a
2	Cultivo permanente	2.77	b
3	Pasturas	2.40	bc
4	Cultivo anual	1.80	c

4.2.2. Reacción del suelo (pH)

La reacción del suelo método del potenciómetro, de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 28 y figura 10), encontramos que el cultivo permanente tuvo el mayor promedio con 7.33 pH, seguido del cultivo anual 7.17 pH, purma 5.67 pH y con menor promedio pasturas 5.50 pH.

Cuadro 28. Reacción del suelo (pH) halladas en cuatro sistemas de uso purma, pasturas, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pasturas	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	5.60	5.30	7.20	7.40
2	5.70	5.70	7.30	7.40
3	5.70	5.50	7.00	7.20
Promedio	5.67	5.50	7.17	7.33
Cv.			0.15	

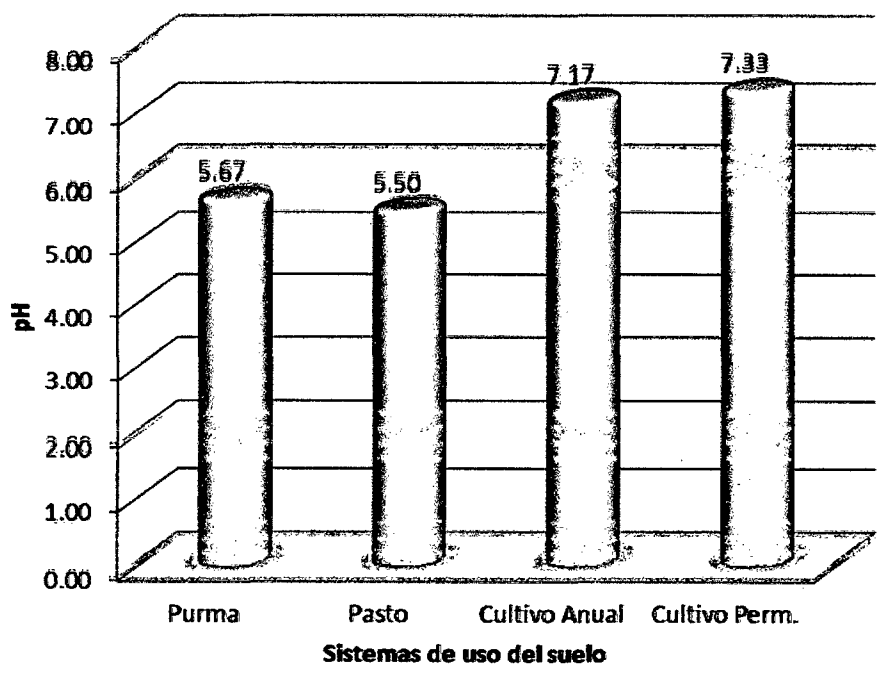

Figura 10. Reacción del suelo en cuatro sistemas de uso del suelo del predio

El análisis de variancia de la reacción del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 29), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 29. Análisis de variancia de reacción del suelo (pH) entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	8.42	3.00	2.81	140.28	3.59	*
Error	0.16	8.00	0.02			
Total	8.58	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad de la reacción del suelo (Cuadro 30), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo permanente (7.33), cultivo anual (7.17) y entre purma (5.67), pastura (5.50), existiendo diferencia significativa entre cultivo permanente y pasturas.

Cuadro 30. Prueba de Duncan $\alpha = 0.05$, de reacción del suelo en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (pH.)	Significación
1	Cultivo permanente	7.33	a
2	Cultivo anual	7.17	ab
3	Purma	5.67	b
4	Pasturas	5.50	bc

4.2.3. Nitrógeno total

El nitrógeno total del suelo, de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 31 y Figura 11), encontramos que en la purma tuvo el mayor promedio en nitrógeno total con 0.16%, seguido del cultivo permanente 0.14%, pasturas 0.11% y con menor promedio el cultivo anual con 0,08%

Cuadro 31. Porcentaje de nitrógeno total del suelo encontrados en los sistemas de uso purma, pasturas, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pasturas	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	0.11	0.13	0.09	0.19
2	0.20	0.09	0.06	0.08
3	0.16	0.11	0.08	0.14
Promedio	0.16	0.11	0.08	0.14
Cv			0.29	

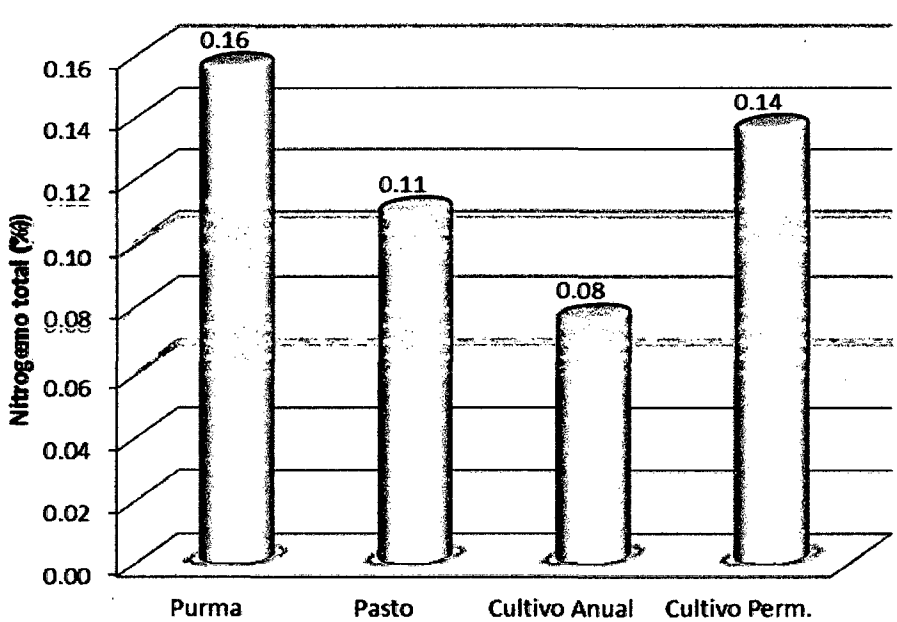

Figura 11. Nitrógeno total en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS

El análisis de variancia del nitrógeno total del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 32), obtenemos como resultado que no existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 32. Análisis de variancia de nitrógeno total entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	0.01	3.00	0.003	2.53	3.59	NS
Error	0.01	8.00	0.001			
Total	0.02	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad del nitrógeno total del suelo (Cuadro 33), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, purma (0.16),cultivo permanente (0.14), pasturas (0.11), cultivo anual (0.08).

Cuadro 33. Prueba de Duncan $\alpha = 0.05$, del nitrógeno total en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (%.)	Significación
1	Purma	0.16	a
2	Cultivo permanente	0.14	ab
3	Pasto	0.11	ab
4	Cultivo anual	0.08	ab

4.2.4. Fósforo disponible

Del fosforo disponible del suelo, de los diferentes sistemas de uso

(Cuadro 34 y Figura 12), encontramos que en la purma tuvo el mayor promedio en fósforo disponible con 14.07 ppm, seguido de pasturas 12.13 ppm, cultivo anual 10.27 ppm y con menor promedio el cultivo permanente con 7.33 ppm.

Cuadro 34. Fósforo disponible (ppm) del suelo presentes en los sistemas de uso purma, pasturas, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pasturas	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	15.60	13.40	11.10	8.00
2	12.90	11.20	9.50	6.90
3	13.70	11.80	10.20	7.10
Promedio	14.07	12.13	10.27	7.33
Cv			0.26	

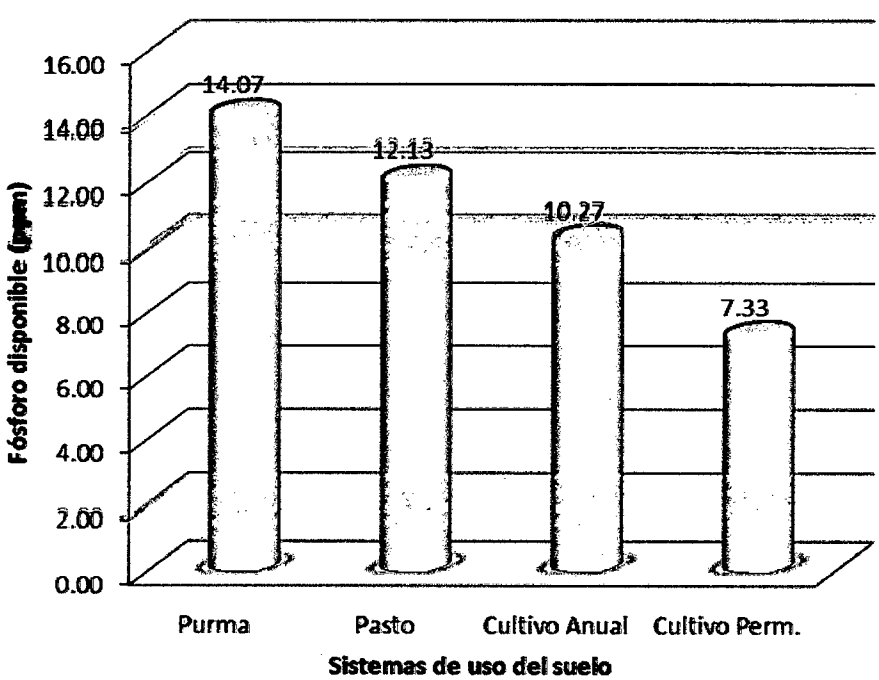

Figura 12. Fósforo disponible en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS.

El análisis de variancia del fósforo disponible del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 35), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 35. Análisis de variancia de fósforo disponible entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	73.98	3.00	24.66	23.47	3.59	*
Error	8.41	8.00	1.05			
Total	82.39	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad del fósforo disponible del suelo (Cuadro 36), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, purma (14.07), cultivo permanente (7.33), pasturas (12.13), cultivo anual (10.27).

Cuadro 36. Prueba de Duncan $\alpha = 0.05$, del fósforo disponible en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (ppm.)	Significación
1	Purma	14.07	a
2	Pasturas	12.13	ab
3	Cultivo anual	10.27	b
4	Cultivo permanente	7.33	c

4.2.5. Potasio disponible

El potasio disponible del suelo, en los diferentes sistemas de uso

(Cuadro 37 y Figura 13), encontramos que en pasturas tuvo el mayor promedio en potasio disponible con 405.00 Kg-K_2O/ha, seguido del cultivo anual 357.67 Kg-K_2O/ha, purma 349.33 Kg-K_2O/ha y con menor promedio el cultivo permanente con 266.33 Kg-K_2O/ha.

Cuadro 37. Potasio disponible del suelo (Kg-K_2O/ha) presentes en los sistemas de uso purma, pasturas, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pasturas	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	378	447	384	314
2	318	356	342	198
3	352	412	347	287
Promedio	349.33	405	357.67	266.33
Cv 0,17				

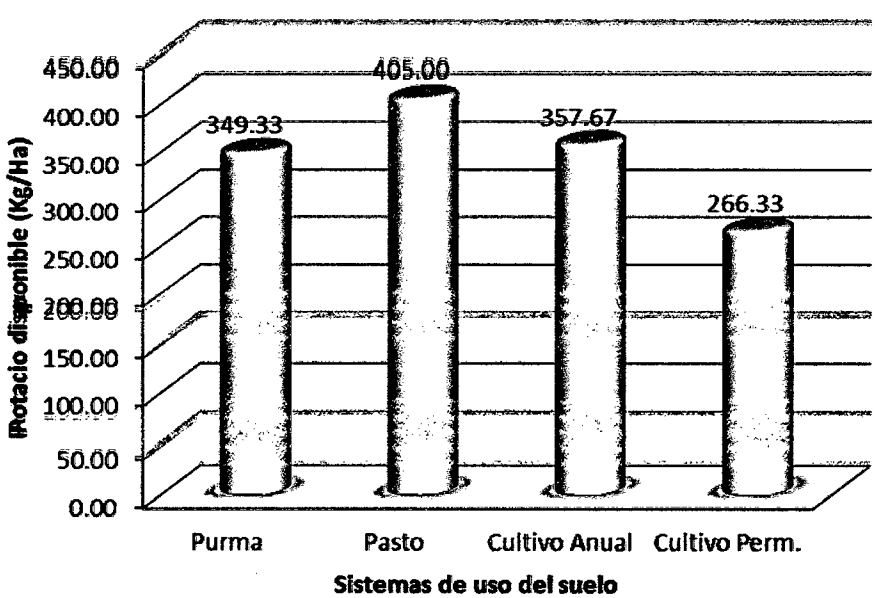

Figura 13. Potasio disponible en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo - UNAS

El análisis de variancia del potasio disponible del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 38), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 38. Análisis de variancia de potasio disponible entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.
Entre sistemas de	29900.92	3.00	9966.97	5.52	3.59
Error		14446.00	8.00	1805.75	
Total		44346.92	11.00		

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad del potasio disponible del suelo (Cuadro 39), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, pasturas (405.00), cultivo permanente (266.33) y no existiendo significación estadística entre cultivo anual (357.67), purma (349.33).

Cuadro 39. Prueba de Duncan $\alpha = 0.05$, del potasio disponible en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (Kg-K_2O /ha.)	Significación
1	Pasturas	405.00	a
2	Cultivo anual	357.67	b
3	Purma	349.33	bc
4	Cultivo permanente	266.33	c

4.2.6. Capacidad de intercambio catiónico

La capacidad de intercambio catiónico del suelo, de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 40), encontramos que en el cultivo permanente tuvo el mayor promedio con 6.53 mq/100g, seguido del cultivo anual 5.89 mq/100g, pasturas 5.57 mq/100g y con menor promedio la purma con 4.80 mq/100g.

Cuadro 40. Capacidad de intercambio catiónico del suelo (mq/100g) presentes en los sistemas de uso purma, pasturas, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pasturas	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	5.04	5.50	6.16	6.78
2	4.13	5.74	5.45	6.27
3	5,22	5.47	6.05	6.55
Promedio	4.80	5.57	5.89	6.53
Cv			0.13	

El análisis de variancia de la capacidad de intercambio catiónico del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 41), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 41. Análisis de variancia de la capacidad de intercambio catiónico entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F	F tab.	Sig.
Entre sistemas de	4.69	3.00	1.56	10.87	3.59	*

Cuadro 41. (Continuación...)

Error	1.15	8.00	0.14
Total	5.84	11.00	

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad de la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Cuadro 42), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo permanente (6.53), purma (4.80) y no existiendo significación estadística entre cultivo anual (5.89), pasturas (5.57).

Cuadro 42. Prueba de Duncan α= 0.05, de la capacidad de intercambio catiónico en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (mq/100g.)	Significación
1	Cultivo permanente	6.53	a
2	Cultivo anual	5.89	b
3	Pasturas	5.57	bc
4	Purma	480	c

4.3. Indicadores biológicos

4.3.1. Biomasa microbiana (C y N)

La biomasa microbiana del suelo, de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 43 y figura 14), encontramos que en la purma tuvo el mayor promedio con 0.058 mg C-CO_2 /100 g, seguido de pasturas 0.056 mg C-CO_2/100 g, cultivo anual 0.049 mg C-CO_2/100 g y con menor promedio cultivo permanente con 0.042 mg C- CO_2/100 g

Cuadro 43. Biomasa microbiana (mg C-CO_2 /100g)

Nº Muestra	Purma	Pasturas	Cultivo Anual	Cultivo
1	0.068	0.065	0.061	0.050
2	0.064	0.050	0.047	0.042
3	0.043	0.052	0.040	0.033
Promedio	0.058	0.056	0.049	0.042
Cv			0.14	

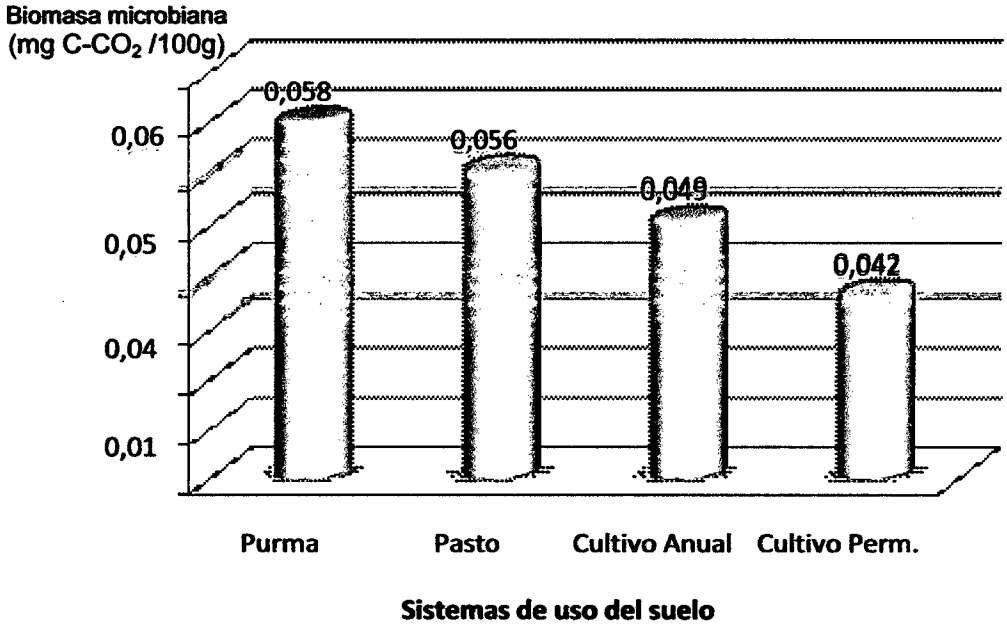

Figura 14. Biomasa microbiana en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS.

El análisis de variancia de la biomasa microbiana del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 44), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 44. Análisis de variancia de la biomasa microbiana entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	0.0005	3.00	0.0002	1.52	3.59	*
Error	0.0009	8.00	0.0001			
Total	0.0014	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad de la biomasa microbiana del suelo (Cuadro 45), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, purma (0.058), pasturas (0.056) y existiendo significación estadística entre purma (0.058), cultivo permanente (0.042).

Cuadro 45. Prueba de Duncan α= 0.05, de la capacidad de intercambio catiónico en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio (mg CO_2-C /100g.)	Significación
1	Purma	0.058	a
2	Pasturas	0.056	ab
3	Cultivo anual	0.049	b
4	Cultivo permanente	0.042	bc

4.3.2. Respiración edáfica (CO_2)

La respiración edáfica del suelo, de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 46 y figura 15), encontramos que en el cultivo anual tuvo el mayor promedio con 88.73Kg CO_2/Ha, seguido de pasturas 88.3 Kg CO_2/Ha, cultivo

permanente 88.00 Kg CO_2/Ha y con menor promedio la purma con 87,5 Kg CO_2/Ha.

Cuadro 46. Respiración edáfica del suelo (Kg CO_2/Ha) halladas en sistemas de uso purma, pasturas, cultivo anual y cultivo permanente del predio Tulumayo.

Nº Muestra	Purma	Pasturas	Cultivo Anual	Cultivo
1	87.50	89.00	88.20	87.80
2	87.60	88.20	88.80	87.80
3	87.50	87.70	89.20	88,40
Promedio	87.53	88.30	88.73	88.00
Cv			0.01	

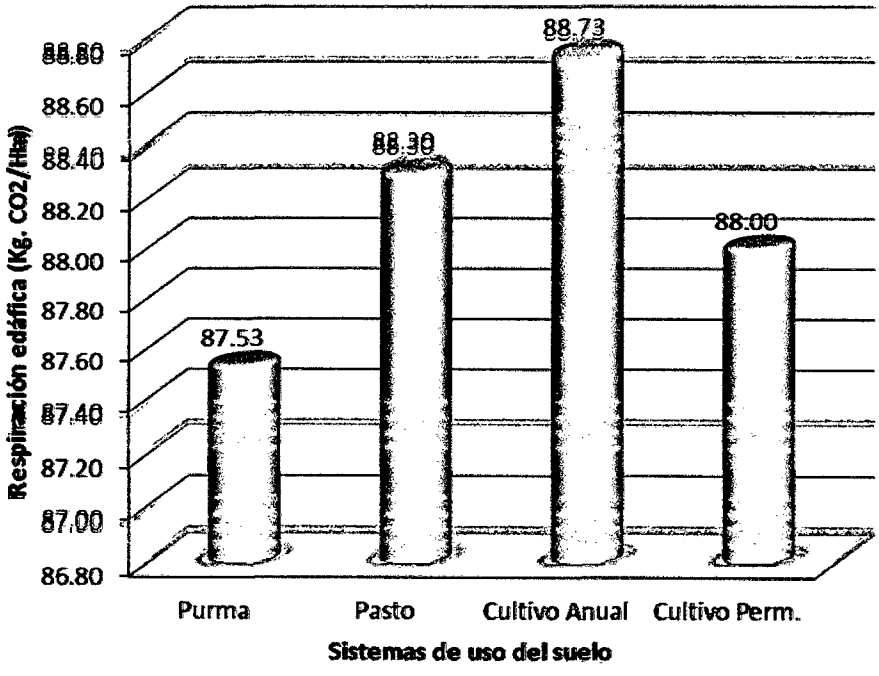

Figura 16. Respiración edáfica en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS

El análisis de variancia de la respiración edáfica del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 47), obtenemos como resultado que no existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 47. Análisis de variancia de la respiración edáfica (CO_2) entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	2.30	3.00	0.77	3.79	3.59	NS
Error	1.61	8.00	0.20			
Total	3.91	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad de la respiración edáfica del suelo (Cuadro 48), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo anual (88.7), purma (87.5) y no existiendo significación estadística entre pasturas (88.3), cultivo permanente (88.0).

Cuadro 48. Prueba de Duncan α= 0,05, de la respiración edáfica en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio ($KgCO_2$/ha.)	Significación
1	Cultivo anual	88.7	a
2	Pasturas	88.3	ab
3	Cultivo permanente	88.0	ab
4	Purma	87.5	b

4.3.3. Número de lombrices

El número de lombrices del suelo, de los diferentes sistemas de uso (Cuadro 49 y figura 16), encontramos que en purma tuvo el mayor promedio con 27, seguido de pasturas 14, cultivo anual 4 y con menor promedio el cultivo permanente con 3.

Cuadro 49. Número de lombrices del suelo

Nº Muestra	Purma	Pasturas	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
1	41	12	2	3
2	21	12	6	5
3	18	18	3	1
Promedio	27	14	4	3
Total				142
Cv			0,94	

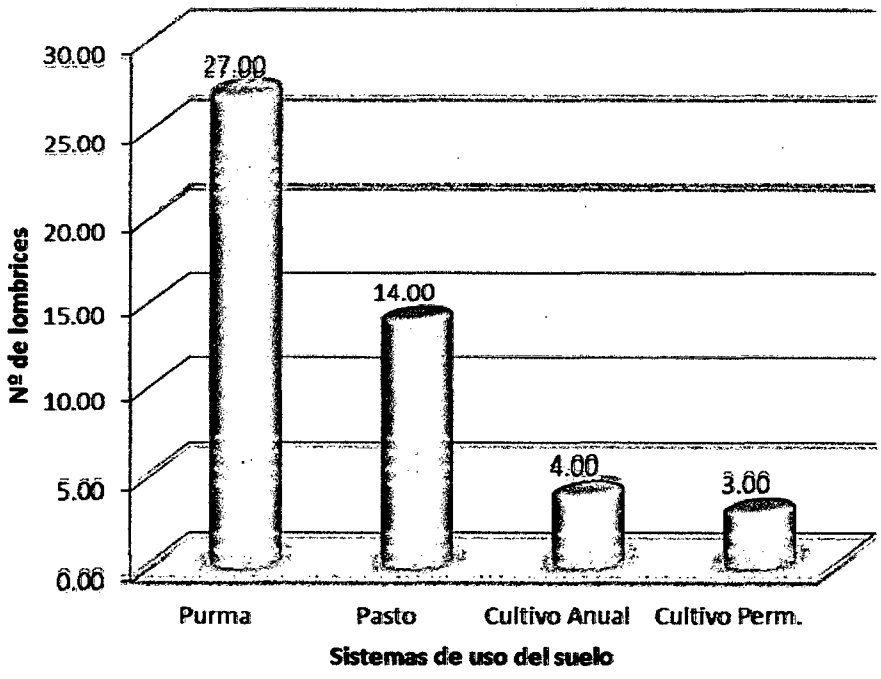

Figura 17. Número de lombrices en cuatro sistemas de uso del suelo del predio Tulumayo – UNAS.

El análisis variancia del número de lombrices del suelo entre los sistemas de uso (Cuadro 50), obtenemos como resultado que existe diferencia significativa entre los sistemas de uso (purma, pastura, cultivo anual, cultivo permanente).

Cuadro 50. Análisis de variancia de número de lombrices entre los sistemas de uso.

Fuente de variación	SC	GL	CM	F cal.	F tab.	Sig.
Entre sistemas de uso	1108.33	3.00	369.44	8.36	3.59	*
Error	353.33	8.00	44.17			
Total	1461.67	11.00				

Los resultados obtenidos en la prueba de Duncan con 5% de probabilidad del número de lombrices del suelo (Cuadro 51), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, purma (27), pasturas (14), cultivo anual (4) y cultivo permanente (3) y no existiendo significación estadística entre cultivo anual, cultivo permanente.

Cuadro 51. Prueba de Duncan α= 0.05, del número de lombrices en la evaluación del experimento.

Nº	Sistemas de uso	Promedio	Significación
1	Purma	27.00	a
2	Pasturas	14.00	b
3	Cultivo anual	4.00	c
4	Cultivo permanente	3.00	cd

4.4. Calidad del suelo en los diferentes sistemas de uso

Como se observa en el Cuadro 52 correspondiente a los resultados del predio Tulumayo – UNAS, los valores de los indicadores de cada sistema de uso fueron relacionados con un suelo ideal para determinar el índice de calidad de los suelos.

Cuadro 52. Valores y porcentajes relativos de los indicadores usados para obtener un índice de calidad de suelo, cuando se supone un suelo ideal.

Indicador	Suelo Ideal	Purna	Pastos	Cultivo anual	Cultivo permanente
Estabilidad de agregados (%)	78.0	65.63	57.03	50.30	57.53
	100%	84.14	73.12	64.49	73.76
Densidad aparente (g/cm^3)	1.1	0.89	1.15	1.23	1.01
	100%	80.91	104.55	111.82	91.82
Profundidad efectiva (cm)	115	90	105	115	80
	100%	78,26	91,30	100,00	69,57
Infiltración (cm/h)	7.0	2.84	0.53	10.78	4.19
	100%	40.57	7.57	154	59.86
Cap. de retención de agua (%)	80	79,17	74,17	82,5	74,17
	100%	98.96	92.71	103.13	92.71
Temperatura (°C)	26	26	28.83	27.37	26.13
	100%	100.00	110.88	105.27	100.50
Res. a la penetración (Kg/cm^2)	1.5	0.95	1.13	1.92	2.0
	100%	63.33	75.33	128.00	133.33

Cuadro 52. (Continuación...)

Porcentaje materia orgánica	4.2	3.57	2.40	1.80	2.77
	100%	850	57.1	42.9	66.0
pH	7.0	5.67	5.5	7.17	7.33
	100%	81.0	78.6	102.4	104.7
Porcentaje nitrógeno total	0.2	0.16	0.11	0.08	0.14
	100%	80.0	55.0	40.0	70.0
Fósforo disponible (ppm)	12.0	14.07	12.13	10.27	7.33
	100%	117.25	101.1	85.6	61.1
Potasio disponible (Kg-K_2O/ha)	400.0	349.33	405.00	357.67	266.33
	100%	87.3	101.3	89.4	66.6
Cap. Inter. catiónico (mq/100g)	30	4.8	5.57	5.89	6.53
	100%	16.0	18.6	19.6	21.8
Bio. microbiana/mg C-CO2 100g)	0.065 0,065	0.058	0.056	0.049	0.042
	100%	89.2	86.2	75.4	64.6
Respiración Edáfica (Kg-CO_2/ha)	70	87.5	88.3	88.7	88.0
	100%	125.0	126.1	126.7	125.7
Número de lombrices	30	27.0	14.0	4.0	3.0
	100%	90.0	46.7	13.3	10.0

Fuente: CHEN (2000), DORAN y LINCOLN (1999), PORTA (1999).

En la (Figura 18), se muestra gráficamente los porcentajes relativos de los diversos indicadores para los cuatro sistemas de uso (purma, pasto, cultivo anual y cultivo permanente) del predio Tulumayo – UNAS. En esta figura el sistema de referencia es el suelo ideal, lo cual corresponde a la línea negra.

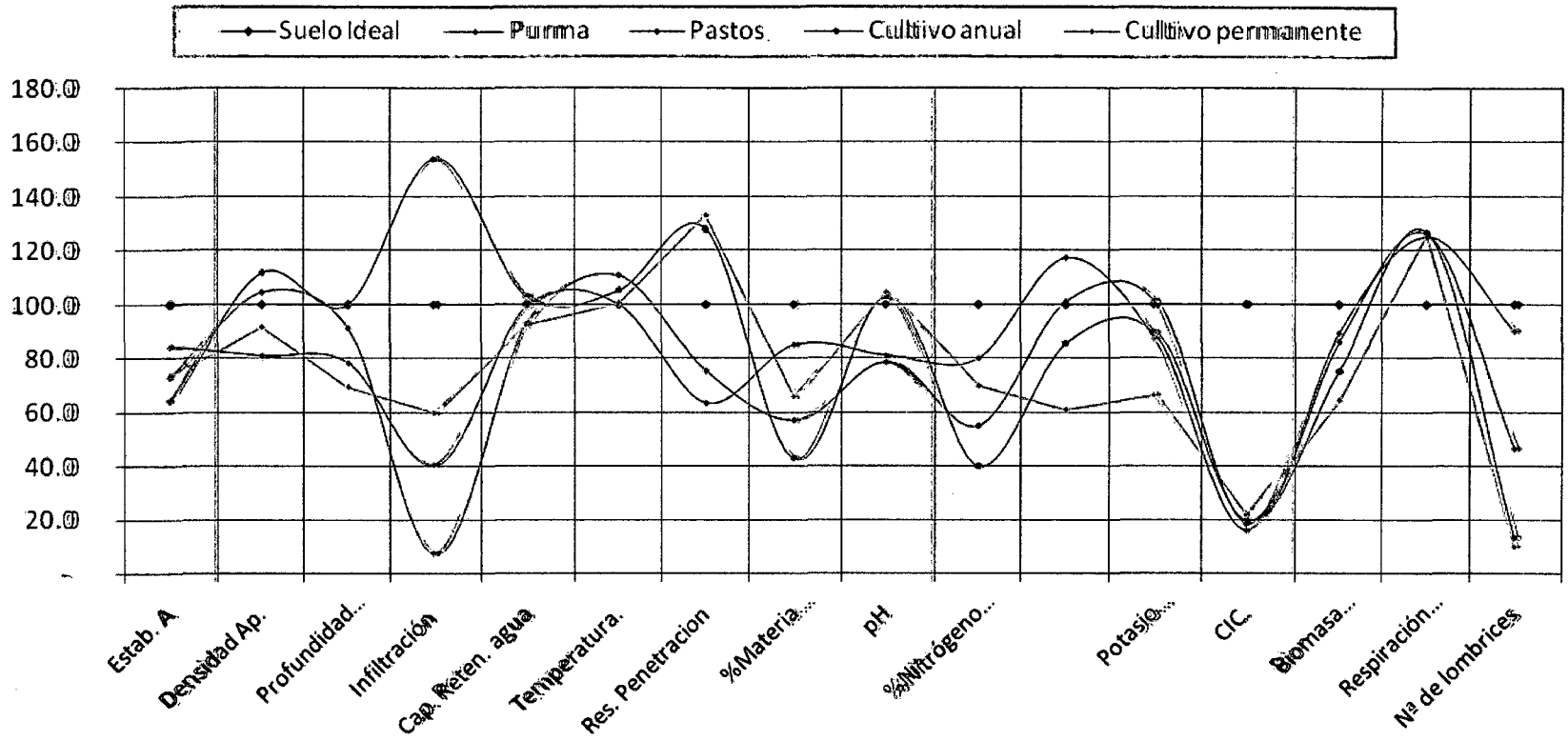

Figura 18. Porcentajes relativos de los cuatro sistemas de uso y el sistema de referencia (suelo ideal) del predio Tulumayo – UNAS

V. DISCUSIÓN

5.1. De los indicadores físicos

Textura del suelo, estructura (tipo, tamaño y grado), estabilidad de agregados, densidad aparente, profundidad efectiva, infiltración, capacidad de retención de agua, temperatura del suelo y resistencia a la penetración. CHEN (2000) recomienda como indicadores la textura, profundidad, tasa de infiltración, densidad aparente, y capacidad de retención de agua. DORAN Y LINCOLN (1999) recomiendan como indicadores la textura, estructura, densidad aparente, espesor del horizonte superior, estabilidad de agregados, temperatura e infiltración.

El primer indicador físico que se determinó en los cuatro sistemas de uso fue, la textura del suelo mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos (Cuadro 2). Donde se le clasificó de acuerdo al porcentaje de partículas mediante el triángulo de textura de suelos. Obteniendo las siguientes clases texturales franco arcilloso, franco, franco arcilloso limoso, franco limoso. Según SAGAN (2002), los nombres de las clases de textura se utilizan para identificar grupos de suelos con mezclas parecidas de partículas minerales. Los suelos minerales pueden agruparse de manera general en tres clases texturales que son: arenas, limos y las arcillas, y se utiliza una combinación de

estos nombres para indicar los grados intermedios.

La textura del suelo en cuatro sistemas de uso (Cuadro2), podemos observar que los mejores suelos de acuerdo a su clase textural son las pasturas y el cultivo permanente, con una textura franco, el cual es un suelo equilibrado con propiedades compensadas, seguido de la purma donde predomina el franco arcilloso, un suelo de calidad regular y por último el cultivo anual con una textura franco arcillo – limoso; estos suelos son impermeables y tienen una alta retención de agua, son muy húmedos y pueden ser dañinos para las raíces de las plantas. Según SAGAN (2002), los suelos arenosos son inertes desde el punto de vista químico, carecen de propiedades coloidales y de reservas de nutrientes; en cuanto a las propiedades físicas presentan mala estructuración, buena aireación, muy alta permeabilidad y nula retención de agua. Por el contrario los suelos arcillosos son muy activos desde el punto de vista químico, adsorben iones y moléculas, floculan (la fracción arcilla permanece inmóvil) y dispersan (migran), muy ricos en nutrientes, retienen mucha agua, bien estructurados, pero son impermeables y asfixiantes. Los suelos limosos tienen nula estructuración, sin propiedades coloidales, son impermeables y con mala aireación. Los suelos francos son los equilibrados con propiedades compensadas.

La estructura del suelo se determinó mediante la observación directa en los cuatro sistemas de uso (Cuadro 3). La estructura del suelo se define por un tipo (migajosa, granular, laminar y sin estructura), un tamaño

(gruesa, media, fina y muy fina) y un grado de manifestación de los agregados (fuerte, media débil, nula). La FAO (2002) menciona que la forma más provechosa de describir la estructura del suelo es en función del grado (grado de agregación), la clase (tamaño medio) y el tipo *de* agregados (forma). En algunos suelos se pueden encontrar juntos distintos tipos de agregados y en esos casos se describen por separado.

La estabilidad de agregados del suelo en los cuatro sistemas de uso se determinó con el método del tamiz. Cuyo resultado se expresa en porcentaje de estabilidad de agregados el cual indica la cantidad que resiste la perturbación por agua que fluye. El porcentaje de agregados estables al agua indica la cantidad que resiste la perturbación por agua que fluye (USDA, 1999). En el porcentaje de estabilidad de agregados encontrados en los cuatro sistemas de uso (Cuadro 4). Podemos observar que los agregados más estables son de purma con 65.63%, muy próximo al valor de suelo ideal; el cual nos indica que este suelo es de mejor calidad en comparación a los demás sistemas de uso. Esto se debe a una mayor actividad microbiana, mayor contenido de materia orgánica, minerales, historias del ecosistema, entre otros y el cultivo anual tuvo el promedio de estabilidad más bajo con 50,30% el cual indica que es un suelo de menor calidad. Según USDA (1999), los agregados que se resisten a las fuerzas del agua son denominados agregados estables al agua (AEA). En general, cuanto mayor sea el porcentaje de agregados estables, menor será la erodabilidad del suelo. Los agregados del suelo son producto de la comunidad microbiana del suelo, de los componentes orgánicos

y minerales del suelo, de la naturaleza de la comunidad de plantas en la superficie y de la historia del ecosistema. Son importantes con relación al movimiento y almacenaje de agua del suelo, a la erosión, desarrollo radicular y actividad microbiana. La destrucción de agregados es el primer paso hacia el desarrollo de costras y sellado superficial, los cuales impiden la infiltración del agua e incrementan la erosión. En general mayores cantidades de agregados estables son mejores para la calidad del suelo. El análisis de variancia entre los sistemas de uso (Cuadro 5), obtenemos que existe diferencia significativa entre sistemas. Con la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 6), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística para los sistemas de uso, cultivo permanente (57.53) y pastura (57.03), existiendo significación estadística para los sistemas, purma (65,63) y cultivo anual (50.30). Por lo que podemos decir que los suelos entre pasturas y cultivo permanente son de calidades similares.

La densidad aparente (Cuadro 07), presenta mayor para el cultivo anual (1,23 g/cm^3), lo que nos indica que presenta un suelo con resistencia mecánica mayor que los demás y con una porosidad inferior, pero está dentro de las densidades aparentes ideales. USDA (1999), afirma que la densidad aparente del suelo puede servir como un indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces. Densidades aparentes del suelo fluctúan entre 1.0 y 1.7 g/cm^3; valores mayores a 1.7 g/cm^3 pueden afectar el crecimiento radicular. Según INGARAMO *et al.* (2003), 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. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie que se trate. Según el análisis de variancia (Cuadro 8), existe diferencia significativa entre sistemas de uso. Sometidos a la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 9) se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, si bien existen diferencias estas no son estadísticamente significativas entre los sistemas de uso, cultivo anual (1,23) y pastura (1.15), cultivo permanente (1.01) y purma (0.89). Según INGARAMO *et al.* (2003), el hecho de que no existan diferencias significativas entre sistemas, se debe básicamente a que el tiempo transcurrido desde el inicio de la experiencia hasta el momento de los muestreos no fue suficiente como para que una propiedad como la densidad aparente se vea afectada de manera reveladora. En general se puede afirmar que, para que los diferentes usos del suelo afecten a las propiedades físicas, entre ellas la densidad aparente de manera evidente deben pasar al menos unos cinco años de laboreos.

La profundidad efectiva (Cuadro 10), en el cultivo anual tiene mayor promedio con 115.00 cm, seguido de pastura 105.00 cm, purma 90.00 cm y con menor promedio el cultivo permanente con 80.00 cm. La profundidad efectiva en todos los sistemas de uso, se relacionan con la profundidad efectiva de un suelo ideal, esto va a permitir que las raíces de las plantas crezcan sin dificultad. Según LOPEZ y RODRIGUEZ (2002), las profundidades efectivas próximas a 115 cm: son adecuadas para la mayoría de las plantas. En términos

generales, los suelos delgados tienen menos capacidad para suministrar nutrientes a las plantas que los suelos profundos. Según el análisis de variancia (Cuadro 11), no existe diferencia significativa entre sistemas de uso. Sometidos a la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 12), no existiendo significación estadística entre sistemas de uso, cultivo anual y pastura, existiendo significación estadística entre cultivo anual y cultivo permanente.

La infiltración del suelo (Cuadro 13), en el cultivo anual tuvo mayor infiltración con 10.78 cm/h, esto se debe a que el sistema de uso está en constante perturbación por la labranza, como también pudo haber estado seco; es por ello que presenta una elevada tasa de infiltración. USDA (1999) manifiesta que el contenido inicial de agua en el suelo, al momento de la medición, afecta la capacidad del suelo de absorber agua adicional. Por esto la velocidad de infiltración es mayor cuando el suelo está seco que cuando está húmedo. Este factor es importante al comparar mediciones de infiltración de suelos diferentes. Los suelos deberían tener un contenido de humedad similar cuando se realizan las mediciones. AOKI y SERENO (2006), menciona que si una gran parte de los poros del suelo ya se encuentran saturados, la capacidad de infiltración será menor que si la humedad del suelo es relativamente baja. JARAMILLO y VÁSQUEZ (1990) establecieron un rango óptimo de infiltración de 6 a 15 cm/h. El análisis de variancia de la infiltración entre sistemas de uso (Cuadro 14), existe diferencia significativa entre sistemas de uso, de igual manera en la prueba de Duncan al 5% de probabilidad.

La capacidad de retención de agua (Cuadro 16), en el cultivo anual tuvo el mayor promedio con 82.50% seguido de purma 79.17% y con menor promedio los sistemas cultivo permanente y pastura con 74.17%. La buena capacidad de retención de agua se debe a la textura franco arcilloso limoso del sistema cultivo anual; así mismo, todos los sistemas de uso presentan una buena retención de agua y están dentro del rango de suelo ideal (cuadro 52). Según LOPEZ *et al.* (1999), el agua del suelo, que constituye su fase líquida, es uno de sus componentes más importantes, representa el medio en el que tienen lugar las distintas reacciones físicas, químicas y biológicas que están relacionadas con la formación y evolución de los suelos. Tiene influencia directa sobre el comportamiento del vegetal por ser el medio indispensable donde ocurren todos los procesos vitales de las plantas.

Según el análisis de variancia (Cuadro 17), existe diferencia significativa entre sistemas de uso; sometidos a la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 18), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo una pequeña significación estadística entre sistemas de uso, cultivo anual y purma y no existiendo diferencia entre pastura y cultivo permanente.

La temperatura del suelo (Cuadro 19) en pasturas tuvimos una temperatura más elevada en comparación con los otros tres sistemas de uso; el cual indica que en pasturas la radiación solar llega directamente a la superficie del suelo debido a que existe poca cobertura vegetal. Tal como lo

menciona SANDOVAL (2006), la temperatura del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre resultado de considerar el balance energético de onda corta y onda larga. La cantidad de radiación neta que llega a la superficie del suelo depende de factores externos al mismo, entre ellos la radiación global disponible. Así mismo, influye la pendiente y la orientación, al variar el ángulo de incidencia de los rayos solares y el número de horas de sol recibidas. La presencia de una importante cubierta vegetal disminuye la cantidad de radiación.

Según el análisis de variancia (Cuadro 20), existe diferencia significativa entre sistemas de uso. Sometidos a la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 21), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo una pequeña significación estadística entre sistemas de uso, pasturas (28.83) y cultivo anual (27.37) y no existe diferencia significativa entre cultivo permanente (26.13) y purma (26.00), estos últimos tienen menor temperatura debido a que tienen mejor cobertura vegetal, que impide la incidencia directa de los rayos solares al suelo.

La resistencia a la penetración (Cuadro 22) en cultivo permanente tuvo mayor promedio de resistencia con 2.00 seguido del cultivo anual con 1.92, esto deberse primordialmente al pisoteo de los animales, uso de equipos para granja y para laboreo, la cual puede causar una severa restricción del crecimiento de las raíces, como también a que en estos sistemas de uso los suelos son más secos, debido a que la penetración depende marcadamente

del contenido de agua. USDA (1999), menciona que la compactación, produce una severa restricción del crecimiento de las raíces, es causada primordialmente por el pisoteo de los animales, la resistencia a la penetración depende marcadamente del contenido de agua del suelo: cuanto más seco está el suelo mayor es su resistencia a la penetración.

Según el análisis de variancia (Cuadro 23), existe diferencia significativa entre sistemas de uso; con la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 24), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo permanente (2.00) y cultivo anual (1.92) y existiendo diferencia significativa entre cultivo permanente (2.00) y purma (0.95). Según GUTIERREZ *et al.* (2000) encontraron en diferentes sistemas de manejo de suelos que la resistencia mecánica a la penetración en el espesor superficial es mayor en suelos con labranza que en sistema de labranza cero.

5.2. De los indicadores químicos

El porcentaje de materia orgánica del suelo (Cuadro 25), nos muestra que en la purma el promedio de materia orgánica fue (3.75%), cultivo permanente (2.77%), pasturas (2.44%) y cultivo anual (1.80%). El sistema de uso purma tiene mayor contenido de materia orgánica, valor que se asemeja al de un suelo ideal (cuadro 52); sin embargo, el cultivo permanente, pasturas y cultivo anual tienen un contenido bajo de materia orgánica. Esto se debe al clima cálido y a la actividad del hombre. Según GARCIA (2003), los elementos

orgánicos contenidos en el suelo están constituidos de una manera natural por restos vegetales y animales. Los datos para la clasificación se representan como sigue: de 1 - 2% de materia orgánica contenido bajo, 2 – 4% contenido normal y de 4% a más suelo orgánico. Según SILVA (2000), los suelos de las zonas de climas cálidos y aquellos intervenidos por el hombre generalmente tienen contenidos bajos de materia orgánica. Según el análisis de variancia (Cuadro 26), no existe diferencia significativa entre los sistemas de uso. Estos resultados sometidos a la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 27), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre sistemas de uso.

La reacción del suelo (pH) (Cuadro 28), podemos observar que el cultivo permanente y el cultivo anual presentan valores muy similares al de un suelo ideal de buena calidad (7.33 y 7.17) óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos, valores fuera de estos rangos pueden afectar la disponibilidad de nutrientes en las plantas. Sin embargo, los sistemas de purma y pasturas (pH 5.67 y 5,50) son valores que se encuentran fuera de los rangos y por tanto no son lo ideal para un suelo de buena calidad, CHEN (2000). De acuerdo a USDA (1999), la disponibilidad de los nutrientes se ve afectada por cambios en la solubilidad de los minerales del suelo. La mayor parte de los minerales son más solubles en suelos ácidos que en suelos neutros o ligeramente básicos. La mayor disponibilidad, para el caso de la mayor parte de los nutrientes, se halla entre pH 6.0 y 7.0.

Según el análisis de variancia (Cuadro 29), existe diferencia significativa entre los sistemas de uso. La prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 30), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre sistemas de uso, solo diferencia significativa entre cultivo permanente y pasturas. Estas diferencias pueden ser causadas, según MARTINEZ (2003), a factores importantes que afectan el pH edáfico como temperatura y precipitaciones, que controlan la intensidad de lixiviado y la meteorización de los minerales del suelo.

El nitrógeno total del suelo, (Cuadro 31), encontramos que en la purma tuvo el mayor promedio con 0.16%, seguido del cultivo permanente 0.14%, pasturas 0.11% y con menor promedio el cultivo anual con 0,08%. Estos valores de nitrógeno total están en relación al contenido de materia orgánica. Sin embargo, los valores de sistema de uso purma y cultivo permanente se encuentran muy cerca del valor ideal (0.2%) de un suelo de buena calidad (Cuadro 52). Según INTA (2002), los valores se expresan en % de suelo seco; por ejemplo 0,09 % significa que por cada 100 kg de suelo seco hay 90 g de nitrógeno total. CHALARCA (2000) afirma que el contenido de nitrógeno total puede interpretarse como: bajo menor de 0.10%, medio 0.10 – 0.20% y alto mayor de 0.2%.

Según el análisis de variancia (Cuadro 32), no existe diferencia significativa entre los sistemas de uso. Con la prueba de Duncan con 5% de

probabilidad (Cuadro 33), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, no existiendo significación estadística entre los sistemas de uso.

El fósforo disponible (Cuadro 34), para los sistemas de uso purma, pasturas y cultivo anual tenemos un valor como indicador de buena calidad; sin embargo, el sistema cultivo permanente (7.33 ppm) es un valor de nivel medio no muy preponderante para un suelo de buena calidad. Según FERNANDEZ *et al.* (2005), los niveles relativos de fósforo son; 0 – 3 ppm muy bajo, 3 – 6 ppm bajo, 7 – 10 ppm medio, 11 – 21 ppm alto y 21 a mas muy alto.

Según el análisis de variancia (Cuadro 35), existe diferencia significativa entre sistemas de uso. Sometidos a la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 36), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre sistemas de uso.

El potasio disponible (Cuadro 37) para el sistema de pasturas obtuvimos 405,00 Kg-K_2O/Ha y el cultivo permanente con menor cantidad 266.33 Kg-K_2O/Ha; la buena concentración de potasio en los sistemas de pasturas, cultivo anual y purma nos indica que no ha sufrido pérdidas por lavado ni por explotación agrícola. Sin embargo el cultivo permanente por su misma explotación no hubo una buena reposición de potasio. Según TERRON (1995) los suelos que tienen potasio menos de 150 Kg/Ha son suelos muy pobres, los que tienen de 150 – 300 Kg/Ha son suelos pobres, los de 300 – 400

Kg/Ha son suelos medios y los que tienen mayor a 400 Kg/Ha son suelos ricos. Así mismo, ROLDAN (2004) el potasio desempeña un papel importante en el metabolismo de carbohidratos y proteínas, regula la transpiración y el contenido de agua de las células, es cofactor enzimático e interviene en la fotosíntesis. En general suelos derivados de rocas básicas y suelos muy intemperalizados son los que tienen menores contenidos.

Según el análisis de variancia (Cuadro 38), existe diferencia significativa entre sistemas de uso. Con la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 39), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre pasturas y cultivo permanente y no existe significación estadística entre cultivo anual y purma.

La capacidad de intercambio catiónico (Cuadro 40), el cultivo permanente con 6,53 mq/100g, seguido del cultivo anual 5.89 mq/100g, pasturas 5.57 mq/100g y con menor promedio la purma con 4.80 mq/100g. PEREZ *et al.* (2005) la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca^{++}), magnesio (Mg^{++}), potasio (K+) y amonio (NH_4), que se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas.

Según el análisis de variancia (Cuadro 41), existe diferencia significativa entre sistemas de uso. Según la prueba de Duncan con 5% de probabilidad (Cuadro 42), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, cultivo permanente y purma y no existiendo significación estadística entre cultivo anual y pasturas.

5.3. De los indicadores biológicos.

Según la biomasa microbiana (Cuadro 43), la purma tuvo el mayor promedio seguido de pasturas, cultivo anual, y con menor promedio cultivo permanente. Esto se debe principalmente porque el sistema de uso purma tiene un mayor contenido de materia orgánica, mejor temperatura del suelo y mayor disponibilidad de agua. De acuerdo a TONIUTTI *et al.* (1999), la dinámica de la biomasa microbiana es afectada principalmente por el aporte de sustrato, la temperatura del suelo y la disponibilidad de agua. También ha sugerido que la biomasa microbiana pueda ser un indicador para estimar el pool de nutrimentos disponibles para las plantas. DELGADO *et al.* (2000) destaca que la mayor actividad de la biomasa microbiana se da en suelos de textura más gruesa, contrario a lo que ocurre en los de textura más fina, ya que en este últimos la biomasa microbiana puede ser confinada o aislada dentro de los agregados sin acceso al sustrato inter-agregados.

Según el análisis de variancia (Cuadro 44), existe diferencia significativa entre sistemas de uso. En la prueba de Duncan con 5% de

probabilidad (Cuadro 45), se aprecia el comportamiento de los diferentes sistemas de uso, existiendo significación estadística entre los sistemas de uso, purma y cultivo permanente, no existe significación estadística entre cultivo purma y pasturas.

La respiración edáfica del suelo (Cuadro 46), encontramos que en el cultivo anual tuvo el mayor promedio con 88.7 Kg CO_2/Ha, seguido de pasturas 88.3 Kg CO_2/Ha, cultivo permanente 88.0 Kg CO_2/Ha y con menor promedio la purma con 87.5 Kg CO_2/Ha. Podemos observar que el cultivo anual tuvo una mayor respiración edáfica, comparado con los otros sistemas; esto no se debe específicamente al resultado de la actividad biológica sino más bien a la labranza y cultivación, lo cual puede ocasionar perdidas de carbono del suelo y un aumento del CO_2 liberado, debido a que el suelo es aflojado, esto crea mejor accesibilidad para el oxígeno necesario para la respiración y descomposición de la materia orgánica, produciendo una liberación de CO_2. Sin embargo, los valores están por encima de la respiración ideal para los suelos de buena calidad. USDA (1999) indica que la actividad del suelo ideal va de 35.84 – 71.68 kg-CO_2/Ha. Según USDA (1999), la respiración es la producción de dióxido de carbono (CO_2) como resultado de la actividad biológica en el suelo, realizada por microorganismos, raíces vivas, y microorganismos tales como lombrices, nematodos o insectos. Los índices de respiración más elevados son atribuibles a la contribución brindada por las raíces de las plantas. Según el análisis de variancia (Cuadro 47), existe diferencia significativa entre los sistemas de uso. Según la prueba de Duncan

con 5% de probabilidad, existe significación estadística entre los sistemas de uso cultivo anual y purma; no existiendo significación estadística entre sistemas de pastura y cultivo permanente.

El número de lombrices del suelo (Cuadro 49), encontramos que el sistema purma tuvo el mayor promedio con 27 unidades, seguido de pasturas 14, cultivo anual 4 y con menor promedio el cultivo permanente con 3 unidades. El sistema de uso purma, es el único que se encuentra dentro del rango de suelo ideal (Cuadro 52); pero los sistemas de uso pastura, cultivo anual y permanente tienen valores bajos en comparación con los números adecuados que debe tener un suelo agrícola. Según USDA (1999), alrededor de 100 lombrices/m^2 son una adecuada población en sistemas agrícolas; el laboreo generalmente mata alrededor de 25% de la población de lombrices. Las poblaciones de lombrices frecuentemente son mejores bajo labranza cero que bajo labranza convencional. La temperatura óptima para lombrices oscila entre 10 °C y 20 °C; el rango superior, letal es de 25 °C a 35 °C. El pH del suelo afecta las poblaciones de lombrices estos son escasas en suelos con pH entre 3.5 y 4.5. La mayoría de las lombrices viven en suelos con pH entre 5 y 7.4.

Según el análisis de variancia (Cuadro 50), existe diferencia significativa entre sistemas de uso de igual manera con la prueba de Duncan con 5% de probabilidad, existe significación estadística entre sistemas de uso; pero entre sistemas de uso de cultivo anual y permanente no existe significación estadística.

VI. CONCLUSIONES

1. Se determinó la calidad de los suelos en cuatro sistemas de uso (purma, pasturas, cultivo anual y cultivo permanente), de acuerdo a sus indicadores físicos, químicos y biológicos. Donde obtuvimos que el suelo de los bosques secundarios (purma de 15 años) fue el de mejor calidad, seguido del cultivo permanente (cítricos), pasturas (brizanta) y el suelo de menor calidad fue el cultivo anual (maíz).

2. Como indicadores físicos se determinaron lo siguiente: Textura para sistema de uso purma (franco arcilloso), pasturas y cultivo permanente (franco) y cultivo anual (franco arcilloso limoso). Estructura para purma (granular medio), para pasturas (granular fino), para cultivo anual (granular medio) y para cultivo permanente (granular fino a medio). Estabilidad de agregados obtuvimos para la purma (65.63%), cultivo permanente (57.53%), pasturas (57.03%) y cultivo anual (50.30%). Densidad aparente en purma (0.89 g/cm^3), cultivo permanente (1.01 g/cm^3), pasturas (1.15 g/cm^3) y cultivo anual (1.23 g/cm^3). Profundidad efectiva en cultivo anual (115.00 cm), pastura (105.00 cm), purma (90.00 cm) y cultivo permanente (80.00 cm). Infiltración en cultivo anual (10.78 cm/h), cultivo permanente (4.19 cm/h), purma (2.84 cm/h) y

pastura (0.53 cm/h). Capacidad de retención de agua para cultivo anual: (82.50%), purma (79.17%), cultivo permanente y pastura (74.17%). Temperatura del suelo para pasturas (28 – 83 °C), cultivo anual (27,37 °C), cultivo permanente (26.13 °C) y purma (26,00 °C). Resistencia a la penetración para cultivo permanente (2.00 Kg/cm2), cultivo anual (1.92 Kg/cm2), pastura (1.13 Kg/cm2) y purma (0.95 Kg/cm2).

3. Como indicadores químicos se evaluaron lo siguiente: Materia orgánica, para purma (3.57%), cultivo permanente (2.77%), pasturas (2.40%) y cultivo anual (1.80%). Reacción del suelo para cultivo permanente (7.33 pH), cultivo anual (7.17 pH), purma (5.67 pH) y pasturas (5.50 pH). Nitrógeno total para purma (0.16%), cultivo permanente (0.14%), pasturas (0.11%) y cultivo anual (0.08%). Fósforo disponible para purma (14.07 ppm), pasturas (12.13 ppm), cultivo anual (10.27 ppm) y cultivo permanente (7.33 ppm). Potasio disponible para pasturas (405 Kg-k_2o/ha), cultivo anual (357.67 Kg-k_2o/ha), purma (349.33 Kg-k_2o/ha) y cultivo permanente (266.33Kg-k_2o/ha). Capacidad de intercambio catiónico para cultivo permanente (6.53 mq/100g), cultivo anual (5.89 mq/100g), pasturas (5.57 mq/100g) y purma (4.80 mq/100g).

4. Como indicadores biológicos se evaluaron lo siguiente: Biomasa microbiana para purma (0.058 mgCO_2 –C/100g), pasturas (0.056 mgCO_2 –C/100g), cultivo anual (0.049 mgCO_2–C/100g), y cultivo permanente (0.042 mgCO_2–C/100g). Respiración edáfica para cultivo anual (88,90

Kg C-CO_2/Ha), pasturas (88.43 Kg C-CO_2/Ha), cultivo permanente (88.89 Kg C-CO_2/Ha) y purma (87.50 Kg C-CO_2/Ha). Número de lombrices para purma (27), pasturas (14), cultivo anual (4) y cultivo permanente (3).

5. Los sistemas de uso cultivo anual y cultivo permanente tienen efectos negativos sobre la calidad del suelo en base a los indicadores número de lombrices, estabilidad de agregados, materia orgánica, fosforo disponible, potasio disponible y biomasa microbiana; puesto que se aleja demasiado a los valores de los indicadores del suelo ideal. En cuanto a la CIC para los cuatro sistemas de uso, sus valores están muy por debajo de los valores del suelo ideal. Para los sistemas de uso pasto y purma, los indicadores estabilidad de agregados, densidad aparente, profundidad, capacidad de retención de agua, temperatura, fosforo y potasio disponible, biomasa microbiana, respiración y número de lombrices; sus valores tienen mucha relación con los del suelo ideal; ya que estos sistemas no han sido muy perturbados por el hombre, excepto del sistema de pastura.

VII. RECOMENDACIONES

1. Para el estudio se debe considerar lo siguiente: tipo de suelo, signos de erosión, historia de manejo, pendiente y aspectos topográficos, información climática y ubicación de aéreas sensibles.

2. Los muestreos del suelo para el estudio, se deberán realizar en un periodo en el que el clima es más estable y durante el cual el suelo no fue disturbado.

3. Hacer mediciones periódicas, a lo largo del tiempo en un mismo sitio, para así monitorear cambios o tendencias en la calidad del suelo.

4. Tener muy en cuenta la profundidad necesaria del muestreo, puesto que de ello dependerá la variación de los valores de los indicadores.

VIII. ABSTRACT

The present work of investigation was realized between the months of September 2006 and February 2007 in the Center of Investigation and Production Tulumayo of the Universidad Nacional Agraria de la Selva,, located politically in departament of Huánuco, Province Leoncio Prado, District Jose Crespo y Castillo; sector Tulumayo; and located geographically with coordinates UTM (E: 398860 and N: 8997650); at 636 altitude OSL. The present work tries to determinate the quality of the soil in different systems of use) purma, pastures, annual farmining and permanent farming); for this we evaluated the physical, chemical and biological indicators. In the physical indicators of the soil the determined: The texture, structure, stability of aggregates, apparent density, effective depth, infiltration , capacity of water retention, soil temperature and the resistance to the penetration. In the chemical indicator we determined: organic matter, soil resction, total nitrogen, available phosphorus and capacity of cationic exchange. In the biological indicators, we determined: Microbial biomass, edafic breathing and number of worms. The quality of the soils in the differents systems of use; according to their physical, chemical and biological indicators, we conclued that the soil of secondary forest (purma of 15 years), are of better quality, followed by the permanent farming)

citric), pastures (brizanta). And the soil of minor quality was the annual farming (maize). From the four systems of use; according to the analysis of variance and Duncan´s test, these ones present different qualities of soil.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, E., CARRASCO, A., LEON, O., SILVA, P., CASTILLO, G., BORIE, G., MARTINEZ, E., GONZÁLEZ, S., AHUMADA, I. 2005. Criterios de calidad del suelo agrícola. [En línea]: USDA, (http://soils.usda.gov/sqi/ informe, 22 Feb. 2006).

ALTIERI, M. 1997. Agroecología; Bases científicas para una agricultura sustentable. Ed. Centro de Investigación, Educación y Desarrollo. 2ed. Lima, Perú. 510p.

ALVEAR, M., REYES, F., MORALES, A., ARRIAGADA, C., REYES, M. 2007. Actividad biológica y agregados estables al agua en dos tipos de formaciones vegetales de un bosque templado del Centro-Sur de Chile con perturbación antrópica. Ecología.

ARZUAGA, S., LOPEZ, F., DALURZO, C., VASQUEZ, S. 2005. Fósforo total fósforo orgánico y fosfatasa acida, en entisoles, alfisoles y vertisoles de corrientes con diferentes usos agrícolas. Universidad nacional del nordeste. Cátedra de edafología. A-066.

AUKI, M., SERENO, R. 2006. Grupo de Gestión Ambiental de Suelos y Agua. Facultad de Ciencias Agropecuarias, U.N.C. Av. Valparaíso s/n, Ciudad.

BAUTISTA, C., ETCHEVERS, B., DEL CASTILLO, R., GUTIÉRREZ, C. 2004. La calidad de los suelosy sus indicadores. [En línea]: (http://www.aeet.org/ecosistema/, 30 de Nov. 2005).

CALDERON, F. 1999. Metodologías para el análisis químico del suelo. Labs. 6 Junio. 1999.

CLAUDIA, S. 2003. Evaluación de la actividad microbiológica de suelo. Rev.dfg. uchile. Universidad de Chile. Microbilogia. 3- 6.

CHEN, Z. 2000. Relationship between heavy metal concentrations in soils of Taiwan and uptake by crops. [En línea]: (http://www.fftc.agnet.org/, 12 Feb. 2006).

DELGADO, R., ESPAÑA, M. 1999. Evaluación de la biomasa microbiana por los métodos fumigación-incubación y fumigación-extracción y su relación con la disponibilidad de nitrógeno en suelos de Venezuela. Instituto de Investigaciones en Recursos Agroecológicas. Apdo. 4846. Maracay 2101. Estado Aragua. Venezuela.

DORAN, J., LINCOLN, N. 1999. Guía para la evaluación de la calidad del suelo. [En línea]: USDA, (http://soils.usda.gov/sqi, Documento, 22 Nov. 2005).

GUZMAN, G., GONZALES, M., SEVILLA, E. 2000. Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible. Ed. Aedos S.A. Ediciones mundi prensa. Madrid, España. 535p.

HENRÍQUEZ, M., PÉREZ, J., GASCÓ, J., RODRÍGUEZ, O. 2005. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en arena y caolín usando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. Bioagro v.17 n.1 Barquisimeto ene. 2005.

ISMAEL HERNÁNDEZ, I., MEDINA, E., LÓPEZ, H. 1993. Respiración edáfica y aportes de materia orgánica por las raíces y la hojarasca en un cultivo de caña de azúcar. Universidad Central de Venezuela. Instituto de Zoología Tropical. Apdo. 1041-A. Caracas. Venezuela.

KARLEN, L., MAUSBACH, M., DORAN, J., CLINE, F., HARRIS, E. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:4–10.

LÓPEZ, A., RODRÍGUEZ, F. 2002. microzonificación del cultivo de myrciaria dubia hkb mc vaugh "camu camu" en suelos aluviales de la región Ucayali. Folia amazónica vol. 13 (1-2) – 2002.

LUGO, M., ZINDER, V. 1999. Consideraciones básicas sobre la relación entre suelo – agua- planta. Manejo de riego por goteo. Universidad de puerto rico. Mayagüez, Puerto Rico 00681-5984.

MARTÍNEZ, E. 2003. Reacción del suelo (pH). Rev. Batuco. Universidad de Chile. 1-34.

MOSCATELLI, G., SOBRAL, R., NAKAMA, V. 2005. Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos. [En línea]:(http://www.inta.gov.ar/, Artículo, 07 Dic. 2005).

NATIONAL RESOURCE CONSERVATION SOIL (NRCS) 2004. What is soil quality. [En línea]: USDA (http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/, documento, 15 Ene. 2006).

PORTA, M., LÓPEZ, A., ROQUERO, C. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. 2ed. Ediciones Mundi Pren. Bilbao, España. 622 p.

ROLDAN, M., VENIALGO, C., GUTIERREZ, N. 2004. Potasio disponible de reserva y energía de reemplazamiento en suelos y el nivel foliar en rye

grass. Universidad nacional del nordeste. Cátedra de conservación y manejo del suelo. Argentina. A-072.

SANDOVAL, J., POCASANGRE, L., ROSALES, F., DELGADO, E. 2006. Importancia de los indicadores físico-químicos en la calidad del suelo para la producción sustentable del banano en Costa Rica. Rev. Costa Rica. Edafología.

SILVA, A. 2000. La materia orgánica del suelo. Notas. Técnicas Nº 16. Facultad de Agronomía. Uruguay. 1992. 16 p.

VANDERLINDEN, C. 2003. Evaluación de la capacidad de retención de agua de los suelos de Andalucía mediante el análisis del balance medio anual del agua. Universitaria, CC 509 (5000), Córdoba, Argentina.

VAZQUES, P. 2005. Revición bibliografica y puesta a punto de metodos de valoración de la actividad biologica del suelo.

VILLOTA, H. 1991. Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de las Tierras. IGAC-Bogotá. 212 p.

ANEXO

Cuadro 53. Densidad Aparente

N°	Muestra	Wsh + Cilind.(g)	Wcilindro (g)	Wsh. (g)	Wss + Cilind.(g)	Wcilindro (g)	W. Luna (g)	Wss. (g)	Vol. Cilindro (cm3)	D. a. (g/cm3)	Promedio
1	Pasto II	294.13	130.72	163.41	250.13	130.72	1.4	118.01	92.240	1.279	
2	Pasto III	289.94	128.32	161.62	243.84	128.32	1.4	114.12	104.100	1.096	
3	Pasto IIII	279.71	133.77	145.94	250.2	133.77	1.4	115.03	105.830	1.087	1.154
4	Purma II	275.61	132.24	143.37	224.32	132.24	1.4	90.68	99.710	0.909	
5	Purma III	264.86	129.14	135.72	214.26	129.14	1.4	83.72	99.710	0.840	
6	Purma IIII	262.63	135.48	127.15	219.22	142.48	1.4	75.34	82.400	0.914	0.888
7	Cultivo anual I	304.22	136.19	168.03	261.76	136.19	1.4	124.17	99.710	1.245	
8	Cultivo anual II	298.32	134.25	164.07	249.63	134.25	1.4	113.98	94.120	1.211	
9	Cultivo anual III	293.42	127.12	166.3	246.74	127.12	1.4	118.22	95.420	1.239	1.232
10	Cultivo permanente I	283.34	125.37	157.97	234.05	125.37	1.4	107.28	99.710	1.076	
11	Cultivo permanente II	287.18	133.77	153.41	241.56	133.77	1.4	106.39	105.830	1.005	
12	Cultivo permanente III	274.06	131.11	142.95	227.73	131.11	1.4	95.22	99.710	0.955	1.012

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 54. Estabilidad de Agregados

Estabilidad de Agregados						
Sitio de Muestreo	**N°**	Peso del Tamiz (gr) **A**	Peso del tamiz + Agregados (B)	Peso del tamiz + Agregados secos (C)	Peso del tamiz + Arena seca (D)	% A.E.A
	1	611.1	651.1	631.32	615.23	**44.9**
	2	611.1	651.1	634.87	616.49	**53.1**
Cultivo Anual	3	611.1	651.1	635.92	618.87	**52.9**
	1	612.21	652.21	636.3	618.22	**53.2**
	2	612.21	652.21	639.05	621.16	**57.6**
Cultivo Permanente	3	612.21	652.21	638.65	616.73	**61.8**
	1	611.7	651.7	639.25	620.15	**60.5**
	2	611.7	651.7	637.72	619.05	**57.2**
Pastos	3	611.7	651.7	637.12	621.68	**51.4**
	1	611.82	651.82	639.17	618.56	**62.0**
	2	611.82	651.82	641.52	616.25	**71.0**
Purma	3	611.82	651.82	639.42	617.45	**63.9**

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 54. Biomasa Microbiana

BIOMASA MICROBIANA (mg CO_2-C/100g)			
Purma	Pasto	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
0.068	0.065	0.061	0.05
0.064	0.05	0.047	0.042
0.043	0.052	0.04	0.033

Fuente: Elaboracion propia

Cuadro 55. Respiración Edáfica

RESPIRACIÓN EDÁFICA (Kg de CO2/Ha)			
Purma	Pasto	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
875.2	890.4	882.8	878.98
876.1	882.8	888.5	878.98
875.2	877.1	892.4	884.7

Fuente: Elaboracion propia

Cuadro 56. Número de Lombrices

NÚMERO DE LOMBRICES (Unidad)			
Purma	Pasto	Cultivo Anual	Cultivo Permanente
41	12	2	3
21	12	6	5
18	18	3	1

Fuente: Elaboracion propia

Triángulo Textural

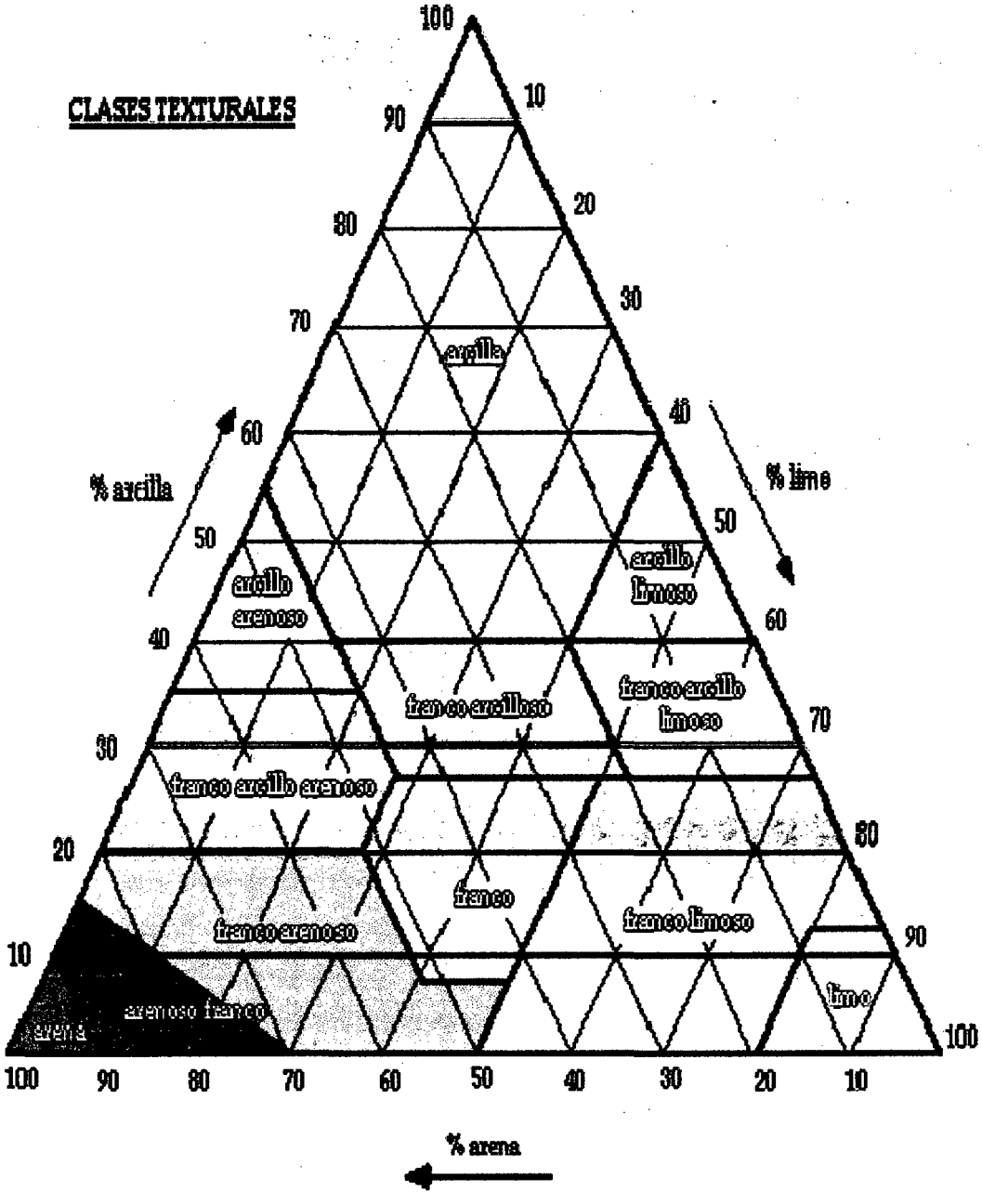

Figura 19. Triangulo textural según PORTA *et.al.* (1999).

Figura 20. Determinación de la estructura del suelo

Figura 21. Estabilidad de agregados del suelo

Figura 22. Respiración del suelo

Figura 23. Medición de la profundidad efectiva

Figura 26. Muestreo del suelo para determinar los indicadores químicos

Figura 27. Número de lombrices del suelo

Figura 24. Temperatura del suelo

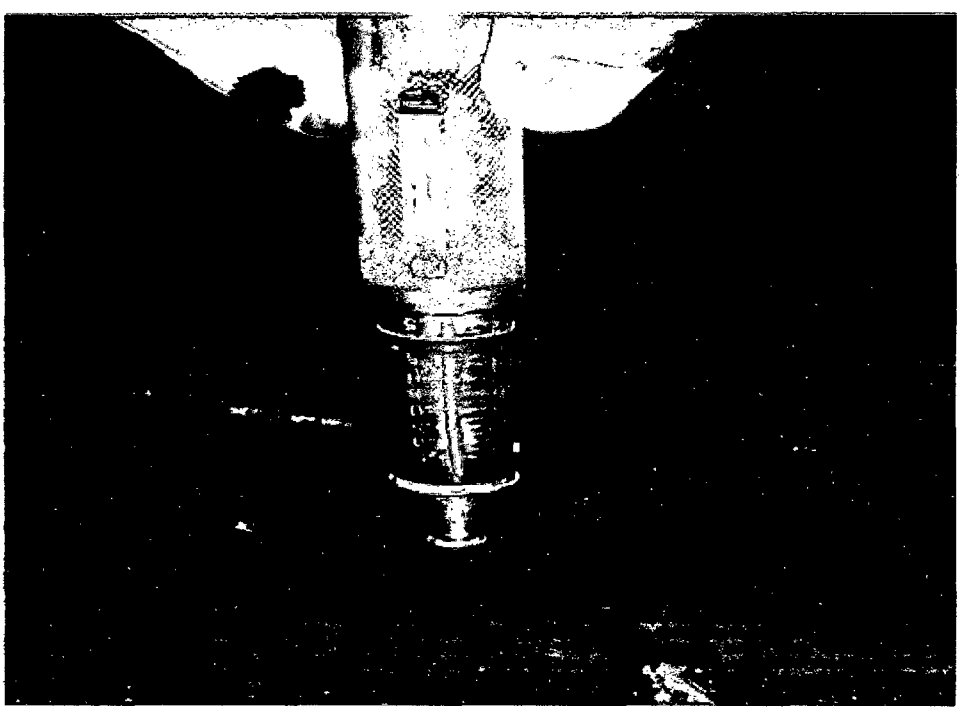

Figura 25. Medición de la resistencia a la penetración

Figura 28: Muestreo para la densidad aparente

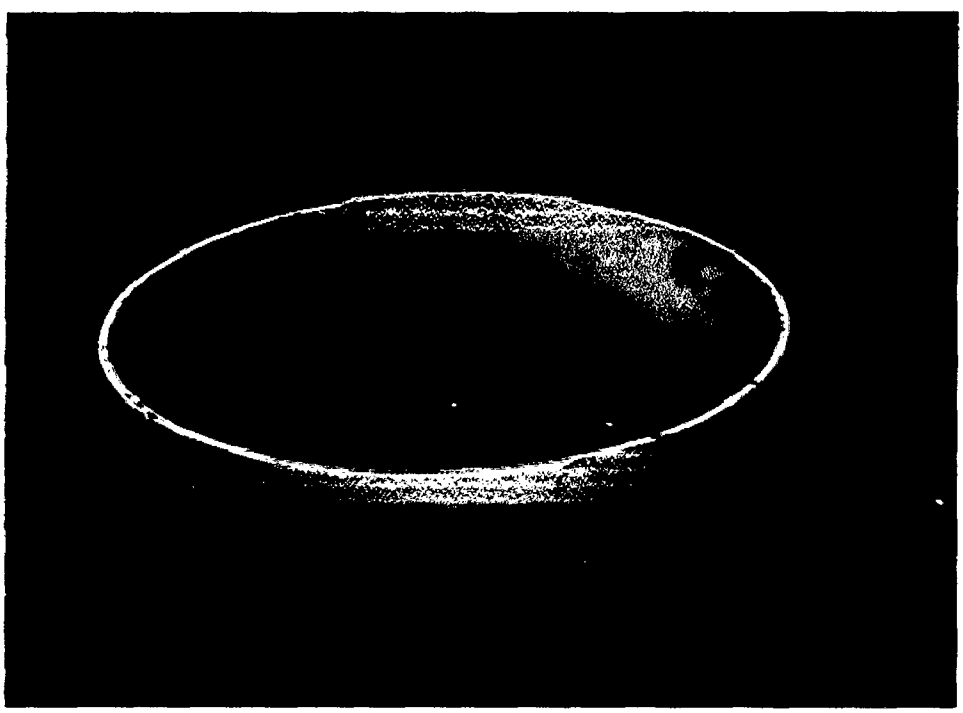

Figura 29: Medición de la infiltración