

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, uno de los cultivos que se extendió más fue el cultivo de coca, sobre todo en los departamentos de San Martín, Huánuco, Cusco, Apurímac, Ucayali, etc. entre los más significativos es la zona del Alto Huallaga. Ecológicamente, el manejo inadecuado del suelo con cultivo de coca y el mal uso de su producción ha afectado las zonas de vida más frágiles de nuestra Amazonía. Lo cual se reflejan en la baja productividad de los cultivos lícitos; degradación y pérdida de fertilidad del suelo, deterioro de la vegetación, eliminación de los organismos, emigración continua desde las zonas rurales hacia los centros urbanos y viceversa, violencia social, contaminación de agua y del aire.

El suelo constituye uno de los recursos más importantes para la vida en el planeta, ya que es la base fundamental para la explotación agropecuaria y forestal. Como parte del sistema natural y social cumple funciones fundamentales de naturaleza biológica, alimentaria, depuradora y de soporte mecánico. Alberga numerosas y diversas especies microbianas, animales y vegetales responsables de la actividad metabólica, esencial para la formación, funcionamiento y fertilidad del mismo. Aun así, los diferentes sistemas de uso de los suelos ocasionan diferentes grados de perturbación, que al afectar sus características físicas, químicas y biológicas, tendrán efectos

como la degradación y erosión, de esta manera ocasionando el deterioro de la calidad del suelo.

En la localidad de Rio Espino del valle de Monzón, se mostraba un alto porcentaje de cultivo de coca, pero con la erradicación ha disminuido el número de hectáreas relativamente, ocasionando así, la erosión del suelo pues al dejarla descubierta se produce el arrastre de los nutrientes por la precipitación, dejando así, suelos pobres en nutrientes y la perturbación del hábitat de muchos organismos. En la actualidad, la gran mayoría de los habitantes de esta zona optaron por cambiar el cultivo de coca por cultivos benéficos, tales como café y cacao, por ello es de gran importancia conocer el uso actual del suelo, a fin de tomar mejores decisiones en cuanto a prácticas de recuperación y restauración, mediante la aplicación de tratamientos y manejos apropiados, como la reforestación y agroforestería. Frente a los problemas ocasionados por las malas prácticas agrícolas, surge la siguiente interrogante ¿El sistema de uso del suelo influye sobre las propiedades fisicoquímicas y modifica la calidad del suelo? Ante esta interrogante, la respuesta hipotética es: “El sistema de uso del suelo si influye sobre las propiedades fisicoquímicas y modifica la calidad del suelo”.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar la calidad del suelo en tres sistemas de uso en la localidad de Rio Espino - Monzón.

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar los indicadores físicos del suelo: textura, densidad aparente, resistencia a la penetración, infiltración y temperatura.
- Determinar los indicadores químicos del suelo: pH, fósforo disponible, materia orgánica, nitrógeno total, potasio intercambiable, calcio intercambiable, magnesio intercambiable, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica.
- Determinar la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable de suelo (SUSS).
- Determinar los indicadores que influyen más sobre la calidad del suelo

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El suelo

Es un sistema dinámico y complejo en el que ocurren fenómenos físicos, químicos y biológicos de intensidad variable, se extiende como un manto continuo sobre la superficie de la corteza terrestre (MINAG, 2011).

El suelo, además de ser soporte y fuente de nutrientes de las plantas, es también el hábitat de una amplia variedad de organismos, de hecho los suelos albergan algunas de las comunidades biológicas más diversificadas del planeta. La dinámica de la vida en el suelo asegura la multiplicidad de los servicios ecológicos que en una gran variedad de condiciones ambientales suministra el suelo al conjunto de la biosfera (LABRADOR, 2008).

2.2. Calidad del suelo

JIMÉNEZ y GONZÁLEZ (2006) mencionan que la calidad se presenta como la herramienta ideal para identificar o conocer en qué estado de degradación funciona el suelo en un momento dado, así como que medidas son necesarias para un mejor funcionamiento, ya que proporciona información sobre las características fisicoquímicas del suelo.

La calidad del suelo es un atributo que depende de la integración de diferentes propiedades fisicoquímicas, efectos del manejo y sistemas de cultivo, aunadas a condiciones climáticas. Es dinámica y algunas poblaciones o características específicas, al ser sensibles a pequeños cambios de diferente índole, entre ellos, manejo agronómico, pueden actuar como indicadores de calidad (Doran y Parkin, 1994, citado por JIMÉNEZ y GONZÁLEZ, 2006).

La evaluación de la calidad del suelo es un proceso de conocimiento de la dinámica que presentan las propiedades edáficas que existen en los suelos. Dicho conocimiento es eficaz para evaluar la sustentabilidad de las prácticas de manejo del suelo. Esta evaluación debe considerar una estructura de metas prioritarias e identificar las funciones críticas del suelo, necesarias para lograr esas metas y además seleccionar indicadores que provean información útil para dar seguimiento a los efectos del manejo sobre la funcionalidad del suelo durante un periodo de tiempo (Gil *et al.*, 2005, citado por NAVARRETE *et al.*, 2011).

VALLEJO (2013) menciona que un suelo de buena calidad no debe presentar compactación, reflejando una baja densidad aparente y resistencia a la penetración, de esta manera no opone resistencia mecánica al avance de la raíz. Por otra parte, la ausencia de compactación genera una adecuada y óptima porosidad que facilita la aireación, el drenaje y el almacenamiento de agua para cubrir las necesidades de la planta, principalmente en periodos de sequía.

2.2.1. Indicadores de calidad

Los indicadores de calidad del suelo se refieren a las propiedades del suelo medibles que influyen en la capacidad de realizar funciones de producción agrícola o medioambiental (Arshad, 2002, citado por JIMENEZ y GONZÁLEZ, 2006). En consecuencia, se trata de las propiedades utilizadas en producción agrícola que además sirvan para identificar la calidad medioambiental, por ello, es deseable que los indicadores de calidad sean: Válidos y relevantes científicamente, ser datos fiables, deben ser representativos, sensibles a los cambios y útiles.

2.2.1.1. Indicadores físicos

La calidad física del suelo se manifiesta de varias formas. Ejemplos de una pobre calidad física del suelo es cuando presenta una o más de los siguientes síntomas: deficiente o baja infiltración de agua, pérdida neta de partículas por escorrentía, compactación, colmatación de poros del suelo y una aireación deficiente (Dexter, 2000, citado por NAVARRETE *et al.*, 2011).

Cuadro 1. Propiedades físicas indicadores de la calidad del suelo

| Propiedad | Relación con la condición y función del suelo |
|--|--|
| Textura | Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo |
| Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces | Estima la productividad potencial y la erosión |
| Infiltración y densidad aparente | Potencial de lavado; productividad y erosividad |
| Capacidad de retención de agua | Relación con la retención de agua, transporte y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica |

Fuente: Doran y Parkin, 1994, citado por SAGARPA (2012).

- Textura

Es una de las características básicas del suelo, referida a la proporción relativa en porcentaje de los componentes minerales del suelo con diámetros menores de 2mm: arena, limo y arcilla. Determina parcialmente el grado de aireación, ya que dependiendo del tipo de textura predominante en el suelo dominan macroporos (rango 60 a 100 u) o microporos (menores a 60 u) y tanto el agua como el aire se desplazan más fácilmente en los macroporos (NUÑEZ, 2007). Así mismo, USDA (1999) considera que la textura es una característica importante porque influye en la fertilidad, amplitud de aireación, ayuda a determinar la velocidad de consumo de agua y su almacenaje en el

suelo. Por ejemplo suelos arcillosos retienen más agua y nutrientes que suelos arenosos.

La acción de los factores formadores del suelo queda reflejada en la textura, ya que la roca tiende a dar una determinada clase textural, que quedará más patente cuanto más joven sea el suelo (en un principio el suelo hereda la textura del material original). El clima tiende a condicionar la textura en función de su agresividad (texturas gruesas en climas áridos y texturas arcillosas en climas húmedos y templados). El relieve condiciona el transporte de las partículas. El tiempo tiende a dar una mayor alteración y aumenta la fracción arcilla (SAGARPA, 2012)

- **Densidad aparente**

SAGARPA (2012) señala que la densidad aparente es una propiedad incluida para evaluar la calidad de un suelo como indicador de la estructura, la resistencia mecánica y la cohesión del mismo. Los 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. Esta propiedad afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo disminuye, lo cual limita 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 de que se trate.

Cuadro 2. Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

| Textura | Ideal (g cm ⁻³) | Aceptable (g cm ⁻³) | Puede afectar el crecimiento radicular (g cm ⁻³) | Restringe el crecimiento radicular (g cm ⁻³) |
|--|--------------------------------|------------------------------------|--|---|
| Arena, areno-franco | Dap < 1.6 | 1.6 ≤ Dap < 1.69 | 1.69 ≤ Dap < 1.80 | Dap > 1.80 |
| Franco-arenosa, franco | Dap < 1.4 | 1.4 ≤ Dap < 1.63 | 1.63 ≤ Dap < 1.80 | Dap > 1.80 |
| Franco-arcilla- arenosa, franco- arcillosa | Dap < 1.4 | 1.4 ≤ Dap < 1.60 | 1.60 ≤ Dap < 1.75 | Dap > 1.70 |
| Limosa | Dap < 1.3 | 1.3 ≤ Dap < 1.60 | 1.60 ≤ Dap < 1.75 | Dap > 1.75 |
| Franco-limosa, franco-arcillo-limosa | Dap < 1.4 | 1.4 ≤ Dap < 1.55 | 1.55 ≤ Dap < 1.65 | Dap > 1.65 |
| Arcillo-arenosa, arcillo-limosa | Dap < 1.1 | 1.1 ≤ Dap < 1.39 | 1.39 ≤ Dap < 1.58 | Dap > 1.58 |
| Arcillosa (>45% arcilla) | Dap < 1.1 | 1.1 ≤ Dap < 1.39 | 1.39 ≤ Dap < 1.47 | Dap > 1.47 |

Fuente: USDA (1999)

MENDOZA (2011) manifiesta que la densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire), para el cual muestra la relación entre densidad aparente y el porcentaje de porosidad, por ejemplo; 1 g/cc: 63%, 1.1 g/cc: 59 %, 1.2 g/cc: 56%, 1.3 g/cc: 52%, 1.4

g/cc: 48%, 1.5 g/cc: 45%, 1.6 g/cc: 41%, 1.7 g/cc: 37%, 1.8 g/cc: 33%, 1.9 g/cc: 30 %.

- **Temperatura del suelo**

Sandoval (2006), citado por PALOMINO (2015) menciona que la temperatura del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre, la cual depende de factores externos, 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 atmosfera y de la tierra; también dependerá de la cobertura vegetal, pues a mayor cobertura menor será la temperatura del suelo.

- **Infiltración**

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Muchos factores del suelo afectan el control de la infiltración, así como también gobiernan el movimiento del agua dentro del mismo, incluso su distribución durante y después de la infiltración. (VELEZ y VELEZ, 2002).

La infiltración o velocidad con que el agua penetra en el suelo varía de forma considerable. Los suelos con una estructura bien desarrollada o de textura gruesa (arenoso y franco arenoso) permiten la libre entrada del agua, mientras que los suelos arcillosos son prácticamente impermeables (FITZPATRICK, 1984 y NUÑEZ, 2007). Así mismo, Aoki y Sereno (2006), citado por PALOMINO (2015) sostiene que la capacidad de infiltración depende

de muchos factores; un suelo arcilloso y compacto tiene menor velocidad de infiltración, usualmente los suelos arenosos presentan regímenes de infiltración veloces.

Cuadro 3. Velocidades y clases de infiltración

| Velocidad de infiltración (cm/h) | Clase de infiltración |
|----------------------------------|-----------------------|
| < 0.004 | Impermeable |
| 0.004 - 0.15 | Muy lenta |
| 0.15 - 0.51 | Lenta |
| 0.51 - 1.52 | Moderadamente lenta |
| 1.52 - 5.08 | Moderada |
| 5.08 - 15.24 | Moderadamente rápida |
| 15.24 - 50.80 | Rápida |
| > 50.80 | Muy rápida |

Fuente: USDA (1999)

- Resistencia a la penetración

Wolkowski (1990), citado por PALOMINO (2015) afirma que el suelo compactado tiene una reducida capacidad para el movimiento del aire, agua y ofrece una gran resistencia a la penetración de las raíces, incrementando la tasa de difusión de los nutrientes por el acercamiento entre las partículas. La compactación causa cambios en las propiedades físicas del suelo, aumentando la resistencia a la penetración y la densidad aparente, reduciendo la porosidad (MENDOZA, 2011)

JIMENEZ y GONZÁLEZ (2006) menciona que el suelo después de pasar mínimamente por 5 años de labranza, requiere de más de 5 años para recuperar un poco la estructura perdida, pero es importante señalar que es muy difícil que el suelo forme una estructura similar a como era antes de que fuese intervenido. El valor más alto de resistencia a la penetración lo obtuvo el correspondiente al suelo con 20 años de labranza lo cual indica que la labranza afecta a las propiedades físicas del suelo, haciendo que la resistencia a la penetración sea mayor y actúe con la densidad aparente como un indicador de compactación cuando se presenta mayor labranza.

Cuadro 4. Niveles de resistencia a la penetración del suelo

| K/cm^2 | Nivel de resistencia |
|----------|-----------------------------|
| < 1 | Suelos muy suaves |
| 1 - 2 | Suelos suaves |
| 2 - 3 | Suelos duros |
| 3 - 4 | Suelos muy duros |
| > 4 | Suelos extremadamente duros |

Fuente: Bazán (1996)

2.2.1.2. Indicadores químicos

Los indicadores para evaluar la calidad química consideran las condiciones que afectan la relación suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y nutrientes para las plantas y microorganismos.

Cuadro 5. Propiedades químicas indicadores de la calidad del suelo

| Propiedad | Relación con la condición y función del suelo |
|--------------------------------|--|
| Materia orgánica (N y C Total) | Define la fertilidad del suelo; estabilidad; erosión |
| pH | Define la actividad química y biológica |
| Conductividad eléctrica | Define la actividad vegetal y microbiana |
| P, N, y K extractables | Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental |

Fuente: Doran y Parkin, 1994, citado por SAGARPA (2012).

- pH suelo (pH)

El pH es conocido como potencial de hidrógeno o menos logaritmo de la actividad de H^+ , que afecta directamente la solubilidad, disponibilidad y absorción de los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo vegetal. Entre los elementos que más afecta el pH se encuentran el P, K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe, Mn, Zn y Cu, el porcentaje de saturación de bases y la capacidad de intercambio catiónico. En regiones con lluvias abundantes se promueve el lavado de las bases y como consecuencia el suelo se acidifica (pH entre 4.0 y 6.5), provocando altas concentraciones de aluminio y manganeso solubles que al ser absorbidos por las raíces provocan intoxicación de la planta. Mientras que en zonas áridas el lavado es mínimo y los suelos se alcalinizan (pH entre 7.0 y 8.5), provocando baja solubilidad del fósforo debido a la presencia de carbonato de calcio ($CaCO_3$) (SAGARPA, 2012). Así mismo, Molina y Rojas

(2005), citado por BARRIOS (2011) indica que la acidez del suelo afectan las características químicas y biológicas, lo cual reduce el crecimiento de las plantas, tales como la disminución en la disponibilidad de nutrientes como K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , y P, aumentando la proliferación de Al^{3+} y Mn que en cantidades altas pueden ser tóxicos para las plantas.

Cuadro 6. Rangos interpretativos para el pH

| Clasificación | Rango de pH |
|--------------------------|-------------|
| Ultra ácida | < 3.5 |
| Extremadamente ácido | 3.6 – 4.4 |
| Muy fuertemente ácido | 4.5 – 5.0 |
| Fuertemente ácido | 5.1 – 5.5 |
| Moderadamente ácido | 5.6 – 6.0 |
| Ligeramente ácido | 6.1 – 6.5 |
| Neutro | 6.6 – 7.3 |
| Ligeramente alcalino | 7.4 – 7.8 |
| Moderadamente alcalino | 7.9 – 8.4 |
| Fuertemente alcalino | 8.5 – 9.0 |
| Muy fuertemente alcalino | > 9.0 |

Fuente: BAZAN (1996)

- **Materia orgánica**

La materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo, así mismo, los residuos de las plantas constituyen el material principal originario de la materia orgánica del suelo (FASSBENDER, 1975). La descomposición de los restos orgánicos da origen al humus, formado por un complejo de macromoléculas en estado coloidal constituido por proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, minerales, etc., en constante estado de degradación y síntesis. El humus al descomponerse produce moléculas coloidales que, en unión con los minerales arcillosos,

originan los complejos órgano-minerales. Estos coloides son de carga negativa, lo que les permite absorber iones H^+ y cationes metálicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) e intercambiarlos en todo momento de forma reversible.

El mismo autor menciona que la función más importante de la materia orgánica es promover el crecimiento vegetal mediante sus efectos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Desde el punto de vista nutricional tiene efectos tanto directos como indirectos en la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas, especialmente en el aporte de N, P, S y fuente de energía para microorganismos fijadores de N. Por su parte, la función física promueve una buena estructura del suelo, por lo tanto mejora la labranza, aireación y retención de humedad, la agregación de las fracciones del suelo que disminuyen la erosión e incrementa la capacidad amortiguadora.

Cuadro 7. Rangos interpretativos para la materia orgánica

| Nivel | % M.O. |
|----------|-------------------|
| Muy bajo | M.O. < 1 |
| Bajo | $1 \leq M.O. < 2$ |
| Medio | $2 \leq M.O. < 3$ |
| Alto | $3 \leq M.O. < 5$ |
| Muy alto | M.O. ≥ 5 |

Fuente: Bazán (1996)

Silva (2003); citado por PALOMINO (2015) sostiene que 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.

- **Nitrógeno total**

La fuente principal de N es la atmósfera, donde es el gas predominante. Este N atmosférico se hace disponible para las plantas a través del proceso de fijación biológica efectuada por ciertos microorganismos. La mayor parte del nitrógeno del suelo se encuentra formando compuestos orgánicos quedando disponible para las plantas a través del proceso de mineralización. Las reservas de N en el suelo están constituidas por materia orgánica de descomposición rápida, compuestos húmicos de mineralización más lenta y una pequeña fracción se encuentra en combinaciones inorgánicas como NH_4^+ y NO_3^- (SÁNCHEZ, 2007).

USDA (1999) menciona que la cantidad de nitrógeno en el suelo, en un momento dado, es una función de la velocidad a la cual los microorganismos descomponen la materia orgánica del suelo y esta velocidad va depender de la temperatura, humedad, aireación, tipo de residuos orgánicos, pH y otros factores. Asimismo, una vez formados, los nitratos del suelo están sujetos a lixiviación, fijación, desnitrificación y consumos por las plantas. Por eso es difícil de interpretar el contenido de nitrógeno (nitratos) en

términos de cuanto y donde estará disponible para responder a los requerimientos de los cultivos.

Cuadro 8. Rangos interpretativos para el nitrógeno total.

| Nivel | % N total |
|-------|--------------------|
| Bajo | $N < 0.1$ |
| Medio | $0.1 \leq N < 0.2$ |
| Alto | $N \geq 0.2$ |

Fuente: Bazán (1996)

- **Fósforo disponible**

SAGARPA (2012) indica que es un elemento esencial que se encuentra en forma de fosfatos y es esencial para las plantas, resulta necesario para el crecimiento y desarrollo del potencial genético. Este elemento es escaso en el suelo y además gran parte no está en formas disponibles para las plantas. La disponibilidad depende del tipo de suelo y del grado de solubilidad. El fósforo posee baja solubilidad, causante de la deficiencia en la disponibilidad de la planta, que las absorben en forma de fosfatos derivados del ácido fosfórico; el contenido total de fósforo también depende de la materia orgánica en suelos, al aumentar predominan los fosfatos orgánicos y se obtiene una mayor cantidad de fósforo disponible. Todos los fosfatos son derivados del ácido fosfórico (H_3PO_4) y se encuentra en dos formas generales: orgánicos e inorgánicos; el fósforo orgánico se encuentra como: fosfolípidos, ácidos nucleicos y fosfato de inocitol; el fósforo inorgánico se encuentra principalmente como fosfatos de Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , y Mn^{2+} predominando en suelos ácidos;

estos suelos además de ser normalmente pobres en fósforo, tienden a retener o fijar este elemento en formas no solubles, difícilmente asimilables por las plantas (BORNEMISZA ,1982).

Cuadro 9. Rangos interpretativos para el fósforo disponible.

| Nivel | P (mg·kg ⁻¹) |
|----------|--------------------------|
| Muy bajo | $P \leq 5$ |
| Bajo | $5.1 \leq P \leq 15$ |
| Medio | $15.1 \leq P \leq 30$ |
| Alto | $30.1 \leq P \leq 40$ |
| Muy Alto | $P \geq 40.1$ |

Fuente: Bazán (1996)

De los Ángeles (2007); citado por PALOMINO (2015) hace referencia que los suelos ácidos (pH<5) normalmente tienen bajo contenido de fósforo disponible para la planta y requieren niveles altos de fertilización con fósforo. Asimismo HUAMANI y MANSILLA (1995) reportan que la disponibilidad de fósforo es baja en pH bajos (ácidos) y esto acompañada de altas precipitaciones hace que el fósforo precipite como fosfato insoluble de hierro y aluminio debido a su alta reactividad.

- **Potasio intercambiable**

SAGARPA (2012) indica que junto con el nitrógeno y el fósforo, el potasio es uno de los nutrientes minerales que requiere la planta en mayor cantidad. Este elemento es absorbido de la solución del suelo en forma del

cación K^+ . La cantidad de potasio en la solución está en función de la liberación del potasio intercambiable, generalmente ubicado en el entorno de las arcillas. La mayoría de los cultivos extraen grandes cantidades de potasio del suelo para su crecimiento y desarrollo. Factores como tipo de arcillas presentes, pH, temperatura y humedad del suelo, cantidad extraída por el cultivo, lixiviación etc. pueden hacer variar considerablemente la reserva de potasio del suelo (De los Ángeles, 2007, citado por PALOMINO, 2015).

Cuadro 10. Rangos interpretativos para potasio (K) intercambiable

| Nivel | K ($\text{Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$) |
|----------|--|
| Muy bajo | $K < 0.2$ |
| Bajo | $0.2 \leq K < 0.3$ |
| Medio | $0.3 \leq K < 0.6$ |
| Alto | $K \geq 0.6$ |

Fuente: SAGARPA (2012).

- Calcio intercambiable

SAGARPA (2012) menciona que entre los cationes intercambiables relacionados directamente con cambios en la degradación del suelo por el fenómeno de salinización, se encuentra el calcio. Este es un elemento relativamente abundante particularmente en suelos de regiones semiáridas. Sin embargo, suele estar presente en formas químicas de baja solubilidad, por lo que su disponibilidad en la solución del suelo resulta ser baja. Incluso en suelos desarrollados bajo condiciones de precipitación más abundante puede haber pérdida de bases por efecto de la lixiviación y por extracción de los cultivos.

Esto puede traer como consecuencia la reducción del pH y la escasez de nutrientes para los cultivos.

Cuadro 11. Rangos interpretativos para calcio (Ca) intercambiable

| Nivel | Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) |
|----------|--|
| Muy bajo | Ca < 2 |
| Bajo | 2 ≤ Ca < 5 |
| Medio | 5 ≤ Ca < 10 |
| Alta | Ca ≥ 10 |

Fuente: SAGARPA (2012).

- Magnesio intercambiable

SAGARPA (2012) menciona que este elemento resulta de particular interés dado que forma parte de la molécula de clorofila, por lo que está asociado a la fotosíntesis. Resulta muy común encontrar deficiencias de Mg en suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico (CIC). Así mismo, en suelos ácidos existen bajos niveles de magnesio.

Cuadro 12. Rangos interpretativos para magnesio (Mg) intercambiable.

| Nivel | Mg (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) |
|----------|--|
| Muy bajo | Mg < 0.5 |
| Bajo | 0.5 ≤ Mg < 1.3 |
| Medio | 1.3 ≤ Mg < 3.0 |
| Alta | Mg ≥ 3.0 |

Fuente: SAGARPA (2012).

- Capacidad de intercambio catiónico

Esta propiedad se define como la cantidad máxima de cationes, de todo tipo (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y Al^{3+}), que un determinado peso de suelo puede retener o intercambiar. La fuerza de la carga positiva varía dependiendo del catión, permitiendo que un catión reemplace a otro en una partícula de suelo con carga negativa de naturaleza coloidal, orgánica e inorgánica. La retención de estos iones en la superficie de los coloides del suelo, es un fenómeno electrostático y en equilibrio con los iones presente en las soluciones del suelo (SAGARPA, 2012). Así mismo, la materia orgánica contribuye a la capacidad de intercambio catiónico de los suelos, especialmente cuando está en alto estado de descomposición.

SANCHEZ (1981) menciona que la capacidad de intercambio catiónico está relacionada con una mejora de la estructura de los suelos, la cual favorece la aireación, retención de agua, actividad microbiana y la fertilidad del suelo. Por ello, se necesita un CIC de por lo menos $7 \text{ Cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$, para retener la mayoría de los cationes contra la lixiviación.

Cuadro 13. Rangos interpretativos para la CIC.

| Nivel | CIC ($\text{Cmol}^{(+)}\text{kg}^{-1}$) |
|-------|---|
| Alta | $\text{CIC} \geq 30$ |
| Medio | $4 \leq \text{CIC} < 30$ |
| Baja | $\text{CIC} < 4$ |

Fuente: Bazán (1996)

- Conductividad eléctrica

USDA (1999) menciona que la conductividad eléctrica (CE) indica la cantidad de sales presentes en el suelo. Todos los suelos contienen algo de sales, las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. Sin embargo un exceso de sales inhibe el crecimiento de las plantas, al afectar el equilibrio suelo-agua. Suelos que contengan exceso de sales aparecen naturalmente y también como resultado del uso y manejo del suelo. Así mismo, la CE indica la disponibilidad de nutrientes para las plantas y en caso de suelo los iones generalmente asociados con salinidad son Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , H^+ (cationes) o NO_3^- , SO_4^- , Cl^- , HCO_3^- , OH^- (aniones).

Cuadro 14. Rangos interpretativos para la conductividad eléctrica

| CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) a 25°C | Efectos sobre el suelo |
|---|---------------------------------------|
| < 0.98 | Efectos despreciables de la salinidad |
| 0.98 - 1.71 | Suelo muy ligeramente salino |
| 1.71 - 3.16 | Suelo ligeramente salino |
| 3.16 - 6.07 | Suelo moderadamente salino |
| > 6.07 | Suelo fuertemente salino |

Fuente: USDA (1999).

2.3. Factores que influyen en las propiedades del suelo

NUÑEZ (2007) manifiesta que actualmente se consideran cinco principales factores en la formación del suelo. Ellos son: relieve, material parental, tiempo y clima.

- **Relieve**

Es la configuración física de la superficie de la tierra. Incluye las irregularidades; elevaciones y depresiones de la tierra, consideradas en conjunto. El relieve es consecuencia de los procesos geomorfológicos y de meteorización actuando sobre los materiales geológicos. Se considera un factor formador del suelo. Una de las varias características del relieve, la pendiente, modifica algunas condiciones del suelo como el drenaje, la profundidad, la susceptibilidad a la erosión, el acúmulo de materiales, etc., afectando el desarrollo y la evolución del perfil en el tiempo, su grado de utilidad agrícola así como, su clasificación dentro de un sistema establecido.

- **Material parental**

Constituye el sustrato sobre el que operan los otros factores formadores del suelo. El origen diverso de los materiales parentales da a las mismas características propias de estructura cristalina, composición química, textura, grado de dureza, propiedades de fractura, etc. La acción de la meteorización sobre diversos materiales parentales origina suelos que difieren mucho en textura, saturación de bases, grados de acidez (pH), tipo de arcilla predominante en el suelo, fertilidad natural, etc.

- **Tiempo**

Constituye el intervalo o periodo durante el cual ocurren los procesos formadores y se producen las características morfológicas que permiten diferenciar evolutivamente los suelos entre sí. Los suelos que no

presentan horizontes claramente diferenciables se consideran suelo inmaduros o recientes, ya que los factores formadores del suelo no han actuado suficientemente para permitir la diferenciación, mientras que los que presentan una clara diferenciación de horizontes y permiten el diagnóstico de procesos pedogenéticos se consideran más evolucionados (maduros o viejos) y en los cuales el transcurso del tiempo ha permitido el desarrollo de esas características.

- **Clima**

Los principales factores que determinan el clima son: temperatura, precipitación, humedad relativa, energía radiante y viento. El clima es considerado por muchos pedólogos y científicos del suelo, el principal factor formador del suelo. Los procesos que ocurren en los suelo están claramente influenciados por el clima, especialmente por la precipitación y la temperatura, así mismo, influyen en la cantidad de materia orgánica del suelo. El contenido de materia orgánica aumenta a medida que la temperatura disminuye.

2.4. Sistemas de uso del suelo

2.4.1. Bosque

Los bosques son ecosistemas imprescindibles para la vida. Son el hábitat de multitud de seres vivos, regulan el agua, conservan el suelo y la atmósfera y suministran multitud de productos útiles. Se estima que hace unos 10 000 años, los bosques ocupaban entre el 80 y el 90% de la superficie terrestre, pero a partir de entonces la deforestación ha sido creciente y en la

actualidad los bosques cubren entre un 25 a 35% de la superficie terrestre. Pero ya desde hace dos siglos han surgido movimientos conservacionistas para proteger bosques y otros ecosistemas naturales y hoy día se abre paso con fuerza una nueva actitud de defensa y uso racional de este valor natural (WCMC, 2007).

El suelo del bosque es uno de los principales sitios de descomposición, proceso de suma importancia para la continuidad del bosque como un todo. También es hogar de miles de plantas y animales, y provee soporte para los árboles que son responsables de la formación del dosel. Los árboles son extremadamente importantes en la formación de los suelos. Sus raíces se entierran y fragmentan la roca madre formando partículas de suelo más pequeñas, y sus hojas cuando caen contribuyen a aumentar la riqueza en nutrientes del suelo. Las ramas de los árboles amortiguan las lluvias fuertes, y sus raíces proveen una estructura de apoyo; estos dos factores ayudan a evitar la erosión. A pesar de permanecer constantemente bajo la sombra, el suelo del bosque es un sitio en donde se llevan a cabo interacciones importantes y relaciones complejas (ODUM, 1972).

2.4.1.1. Bosque secundario

Los bosques secundarios son frecuentemente parte de un sistema dinámico de uso de la tierra dentro del cual, por factores naturales o antrópicos, se transforman en superficies agrícolas, forestales o degradadas o, según el caso, se regeneran a largo plazo hasta constituir nuevamente bosques

primarios. Sin embargo, los bosques secundarios pueden cumplir gran cantidad de funciones de las que el hombre se beneficia o se podría beneficiar. Básicamente se pueden diferenciar cuatro grupos de usos potenciales, los cuales son: usos forestales, agrícolas, potencial de protección, potencial de turismo y recreación (EMRICH *et al.*, 2000).

Incluso el mismo autor menciona que una gran parte de los bosques secundarios se encuentra en un ciclo permanente en el cual se suceden la roza para fines agrícolas y la regeneración del bosque como método de restitución de la fertilidad del suelo (agricultura migratoria). A causa de la fuerte necesidad de aprovechamiento de las tierras, existe el peligro de que se las sobreutilice causando la alteración y disminución de la sostenibilidad del suelo.

2.4.2. Sistema agroforestal

Es un sistema sustentable de manejo de cultivos y tierra que procura aumentar los rendimientos en forma continua, combinando la producción de cultivos forestales arbolados (que abracan frutales y otros cultivos arbóreos) con cultivos agrícolas y/o animales sobre la misma unidad de tierra, aplicando además prácticas de manejo que son compatibles con la practicas culturales de la población local (López, 2007; citado por PALOMEQUE, 2009).

PIMENTEL *et al.* (1992) menciona que la diversidad en los SAF permite una mayor sostenibilidad porque contribuye con el ciclaje de nutrientes, flujo de energía y descomposición de compuestos orgánicos, mejorando así las características físicas y químicas, lo cual permite la disminución en el uso de agroquímicos. Así mismo, PALOMEQUE (2009) indica que los cultivos perennes acompañado de especies forestales generan: mayor protección contra la erosión por viento y agua (menos impacto erosivo de las gotas de lluvia y escorrentía superficial), mayor posibilidad de fijación de nitrógeno atmosférico mediante los árboles, mantiene la estructura y fertilidad del suelo (aportes de materia orgánica), mayor actividad biológica, reducción de la acidez, mayor extracción de nutrientes de los horizontes profundos del suelo (principalmente en zonas secas), ayudan a recuperar suelos degradados y provee hábitat para mayor biodiversidad.

2.4.3. Cocal

Los suelos de cocal son aquellos que generalmente sufren un proceso de pérdida de material superficial, nutrientes y de su estructura original debido a la acción humana. La degradación de los agregados del suelo, su transporte y/o disposición en otros sitios es un fenómeno que ocurre normalmente y de manera continua; sin embargo, la intervención del ser humano ha hecho que estos procesos ocurran más rápido, y de una manera drástica que dificulta el equilibrio y recuperación de estos suelos, que bien tratados, podrían continuarse usando por mucho tiempo y con rendimientos aceptables (BIBLIOTECA DE CAMPO, 2002).

Los principales problemas al suelo por el cultivo de coca según URRELO (1997) son:

- **Contaminación del suelo**

Con la aplicación de fertilizantes, herbicidas e insecticidas después de cada una de las cosechas, el cultivo de la coca se conduce con la mayor cantidad de agroquímicos que pueda aplicarse a cultivo alguno. La consecuencia inevitable es la eliminación de grandes cantidades tanto de plagas como de especies benéficas, de las especies silvestres que la población utiliza como alimentos, así como la contaminación del suelo y agua que se convierten en hábitats peligrosos para cualquier actividad silvestre o humana.

- **Pérdida de suelos**

El cultivo de coca disminuye la fertilidad del suelo, extrayendo aceleradamente los principales nutrientes; bajo estas condiciones y expuestos a las intensas lluvias, ocurre una inmediata erodabilidad y pérdida de su capacidad productiva, por lo cual son abandonados pudiendo llegar a convertirse en un desierto tropical.

- **Acidificación y descalcificación de suelos.**

La acidificación es la tendencia del complejo de cambio del suelo a cargarse con iones H^+ . La acidificación del suelo es favorecida por la aplicación de ciertos fertilizantes. Los suelos sin una importante reserva de Ca, pueden presentar un proceso de acidificación, tanto más rápido cuanto más intensivo es el cultivo y cuanto mayores son los aportes de fertilizantes acidificantes

2.5. Subíndice de uso sustentable del suelo

La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), ha elaborado un estudio, el cual forma parte de la línea de base del Programa de Sustentabilidad de los Recursos Naturales, con el objetivo de contar con datos contrafactuales que sirvan para guiar la instrumentación del programa, así como para, en su momento, evaluar los impactos del mismo.

El índice de sustentabilidad del sector rural y pesquero pondera los niveles de sustentabilidad de cinco componentes (suelos, agua, atmósfera, pesquerías y biodiversidad), dándole un enfoque global a los resultados. De esta manera, el cálculo del índice implica la construcción de cinco subíndices que reflejan los avances de cada uno de los componentes, estableciendo niveles de sustentabilidad. Estos subíndices son:

- a. Variables del subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS)
- b. Variables del subíndice uso sustentable del agua (SUSA)
- c. Variables del índice de sustentabilidad biológica de las principales pesquerías de México (ISB)
- d. Variables del subíndice diversidad:
 - Variables del subíndice de biodiversidad vegetal (SBV)
 - variables del subíndice de diversidad pecuaria (SDP)
- e. Variables del subíndice de emisiones de gases efecto invernadero (SEGEI).

La medición basal del estado del suelo agrícola es parte de esa línea de base a través del subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS), mismo que mide la calidad de suelo a través de indicadores fisicoquímicos.

En ese estudio se presenta la metodología de estimación del SUSS, para el cual se colectaron muestras en alrededor de 4,000 parcelas agrícolas en México, a las que se realizaron análisis fisicoquímicos del suelo. A partir de los resultados de esos análisis es que se construyó el subíndice.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del lugar de estudio

El presente estudio se realizó en tres tipos de sistemas de uso del suelo en la localidad Rio Espino, ubicada políticamente en el distrito de Monzón, provincia de Huamalíes, departamento de Huánuco. El área de investigación presenta las siguientes coordenadas geográficas: 9°12' 51.71" latitud y 76°10' 58.45" longitud, a 750 m.s.n.m. (Figura 16 del Apéndice 2).

3.2. Características ambientales del lugar de estudio

3.2.1. Clima

INRENA (1994) según el mapa ecológico del Perú basada en la clasificación de Holdridge, indica que el área en estudio presenta un clima tropical - húmedo - cálido con un régimen pluvial del orden de los 3,100 mm/anuales y temperatura media anual de 25.5°C sobre los 800 m.s.n.m.

3.2.2. Topografía o relieve

La localidad de Rio Espino del valle de Monzón tiene una topografía abrupta, de media ladera con inclinación al río Monzón, presenta dos tipos de paisajes: Paisaje colinoso y planicie.

3.2.3. Características de los sistemas en estudio

– Bosque secundario

Caracterizada por tener especies arbóreas como guaba, oje, cedro, tornillo, huairuro, incluso cultivos de cacao (edad 30 años). En este sistema hace años atrás se realizó la extracción de madera, pero aun así, conserva algunas especies nativas de la zona. Presenta una pendiente ligeramente inclinada.

– Sistemas agroforestales (SAF)

Se caracterizan por tener una plantación mixta, las cuales están conformados por cacao (*Theobroma Cacao L.*), naranja (*Citrus sinensis*) y especies forestales para sombra permanente y barrera rompevientos como guaba (*Inga edulis*), pino chuncho (*Schizolobium amazonicum*), bolaina (*Guazuma crinita c.*) y tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*). La plantación de cacao (cultivo principal) tiene edad de 6 años, con un distanciamiento de 3 x 3m, haciendo un total de 1111 plantas/ha. Este sistema presenta una fisiografía plana y actualmente se realiza buenas prácticas de manejo y conservación, obteniendo como resultado una buena producción.

– Cocal

Este sistema de producción (*Erythroxylum coca*), fue instalado hace 20 años, previo a eso, realizaron rozo, tumba y quema de monte real. Este sistema se caracteriza por presentar suelos de textura franco arcilloso arenoso. En el manejo de este monocultivo la utilización de fertilizantes químicos es continua.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales de campo

Mapa de ubicación, wincha, rafia, balde de plástico de 5 lt, bolsas plásticas, etiquetas de papel, cilindros infiltrómetro, machete, tubo muestreador, martillo, bloque de madera, botas, cuaderno y lapicero.

3.3.2. Materiales de laboratorio

Probeta de 200 y 1000 mL, tubos de ensayo, pipetas, tamiz de 5.2 y 0.25 mm de diámetro, desecador de cristal, matraz, embudo, bureta, agitador.

3.3.3. Equipos de campo

Termómetro de suelo, cronómetro, penetrómetro, cámara fotográfica, GPS marca GARMIN MAP 60 CSx

3.3.4. Equipos de laboratorio

Balanza digital, estufa, pH metro, espectrofotómetro de absorción atómica, conductímetro.

3.4. Metodología

3.4.1. Enfoque metodológico

El presente trabajo de investigación se realizó de forma descriptiva – comparativo con un tiempo de ejecución entre los meses de marzo – octubre del 2015. Es de alcance descriptivo - comparativo, debido a que se describió y

realizó una comparación entre los sistemas de uso de suelo en estudio. Estos sistemas son:

- Cocal (20 años)
- Sistema agroforestal (6 años, ex cocal)
- Bosque secundario (30 años)

Para la evaluación de los diferentes sistemas de uso del suelo, en cuanto a las propiedades fisicoquímicas, se consideró la metodología recomendado por el departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica USDA (1999) y BAZAN (1996), para la metodología del muestreo del suelo se utilizó lo recomendado por MOSCATELLI *et al.* (2005) del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina (INTA).

Para determinar la calidad del suelo en los diferentes sistemas de uso se utilizó el Subíndice de Uso Sustentable del Suelo (SUSS) recomendado por la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA, 2012).

3.4.2. Identificación de los sistemas de uso del suelo

Se identificó la zona en estudio, luego se seleccionó los sistemas de uso del suelo según sus características y se estableció en cada una de ellas una parcela de 25 x 20 m para la evaluación de las propiedades o indicadores fisicoquímicos.

3.4.3. Determinación de los indicadores físicos del suelo

3.4.3.1. Textura

Se utilizó el método del hidrómetro de Bouyoucos, metodología descrita por el USDA (1999) y MOSCATELLI *et al.* (2000).

3.4.3.2. Densidad aparente

Para la medición de la densidad aparente se realizó por el método de la probeta, recomendado por el USDA (1999) y MOSCATELLI *et al.* (2000) (Figura 23 del Anexo D, del Apéndice 3).

3.4.3.3. Resistencia a la penetración

Se utilizó el método directo del penetrómetro, según la metodología descrita por el USDA (1999) y MOSCATELLI *et al.* (2000) (Figura 21 del Anexo C, del Apéndice 3).

3.4.3.4. Infiltración.

Se utilizó el método de los cilindros infiltrómetro, descrito por el USDA (1999) y MOSCATELLI *et al.* (2000) (Figura 20 del Anexo C, del Apéndice 3).

3.4.3.5. Temperatura del suelo

Para la determinación de la temperatura se realizó por el método directo del termómetro descrita por el USDA (1999) y MOSCATELLI *et al.* (2000) (Figura 19 del Anexo C, del Apéndice 3).

3.4.4. Determinación de los indicadores químicos del suelo

Se realizó el muestreo del suelo al azar y de forma sistemática, siguiendo el método de muestras compuestas en diferentes puntos dentro de la parcela en un trayecto en zigzag, método recomendado por MOSCATELLI *et al.* (2000); cada sub muestra tuvo el mismo volumen que las demás y a una profundidad de 30 cm, las cuales fueron reunidas en un recipiente y mezcladas hasta homogenizarlas, reuniendo un total de 1 kg en peso. Posteriormente se llevó al laboratorio de suelos de la UNAS para su respectivo análisis químico.

3.4.4.1. Materia orgánica

Se utilizó el método de Walkley Black, metodología recomendada por BAZAN (1996).

3.4.4.2. pH del suelo

Se utilizó el método del potenciómetro, metodología recomendada por BAZAN (1996).

3.4.4.3. Nitrógeno total

Se utilizó el método de la materia orgánica recomendado por BAZAN (1996).

3.4.4.4. Fósforo disponible

Se utilizó el método de Olsen modificado, metodología recomendada por BAZAN (1996).

3.4.4.5. Potasio, calcio y magnesio intercambiable

Se utilizó el método del acetato de amonio, metodología recomendada por BAZAN (1996).

3.4.4.6. Capacidad de intercambio catiónico

Se utilizó el método del acetato de amonio, metodología recomendada por BAZAN (1996).

3.4.4.7. Conductividad eléctrica

Se utilizó el método del conductímetro, metodología recomendada por BAZAN (1996) (Figura 22 del Anexo D, del Apéndice 3).

3.4.5. Análisis de datos

Mediante los programas Microsoft Excel y Word se realizaron el análisis de los datos colectados tanto en campo y laboratorio. Aparte de ello, se realizó una prueba de correlación de Pearson para determinar los indicadores fisicoquímicos más relacionados al subíndice de uso sustentable de suelo, mediante el programa SPSS.

3.4.5.1. Variables a evaluar

– Variables dependientes

Y = Calidad del suelos

Y₁ Calidad del suelo del SAF

Y₂ Calidad del suelo del bosque secundario

Y₃ Calidad del suelo del cocal

– **Variable independiente**

X = indicadores físicos y químicos

X₁ Conductividad eléctrica = dSm⁻¹

X₂ pH = pH

X₃ Densidad aparente = g/cm³

X₄ Resistencia a la penetración = kg/cm²

X₅ Materia orgánica del suelo (MO) = %

X₆ Fósforo disponible = mg kg⁻¹

X₇ Magnesio disponible = Cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹

X₈ Calcio disponible = Cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹

X₉ Potasio disponible = Cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹

X₁₀ Capacidad de intercambio catiónico = Cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹

X₁₁ Nitrógeno = %

X₁₂ velocidad de infiltración = cm/h

3.4.5.2. Estimación de la calidad del suelo

Para la estimación de la calidad del suelo se utilizó el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS) que agrupa las propiedades fisicoquímicas

relacionadas a la calidad del suelo, a través del promedio de los valores normalizados de cada indicador edáfico (i).

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Dónde:

P: es el promedio del valor de los parámetros normalizados,

i: es cada indicador o parámetro analizado, y

n: es el número total de parámetros analizados.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m Rn_j}{m}$$

Dónde:

Rn: es el valor resultante del parámetro normalizado

m: es el número de muestras de suelo analizadas

j: es cada muestra de suelo.

La ecuación de cálculo de la normalización de los indicadores es:

$$Rn_j = 1 - \left(\frac{Vr_j - d_j}{c_j - d_j} \right)$$

Dónde:

Rn: es el resultado normalizado

Vr: es el valor del parámetro fisicoquímico (indicador)

d: es el valor deseable en el indicador

c: es el valor de corte en el indicador

j: es cada muestra de suelo.

Los rangos de valores deseables para cada parámetro considerado en la estimación del SUSS se presentan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo

| Indicador | Unidad de medida | Rango o | |
|--|--------------------------------------|--------------------|--------------------|
| | | valor Deseable (d) | Valor de corte (C) |
| Materia orgánica (MO) | % | MO > 5 | 0.5 |
| Densidad aparente (Dap) | g/cm ³ | Dap < 1.1 | 1.47 |
| Conductividad eléctrica (CE) | dSm ⁻¹ | CE < 1 | 4.1 |
| pH | pH | 6 < pH < 7 | 5 < pH < 8.5 |
| Fósforo disponible (P) | mg kg ⁻¹ | P > 5.5 | 0 |
| Magnesio intercambiable (Mg) | Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹ | Mg > 0.3 | 0 |
| Calcio intercambiable (Ca) | Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹ | Ca > 5 | 0 |
| Capacidad de intercambio catiónico (CIC) | Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹ | CIC > 15 | 5 |
| Nitrógeno total | % | N > 0.2 | 0.05 |

Fuente: SAGARPA (2012).

La interpretación del subíndice se realizó conforme a la clasificación del Cuadro 16.

Cuadro 16. Rangos interpretativos del SUSS.

| Calidad del suelo | Descripción |
|--|--|
| Bueno ($0.95 < \text{SUSS} < 1.0$) | Las condiciones de la calidad del suelos son las deseables para llevar a cabo la actividad agrícola |
| Aceptable ($0.80 < \text{SUSS} \leq 0.95$) | La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados |
| Sensible ($0.65 < \text{SUSS} \leq 0.80$) | Los parámetros medios ocasionalmente se alejan de los valores óptimos |
| Marginal ($0.45 < \text{SUSS} \leq 0.65$) | Los indicadores dela calidad son distantes de los valores deseables |
| Pobre ($0 < \text{SUSS} \leq 0.45$) | La calidad de suelos para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseables. |

Fuente: SAGARPA (2012).

IV. RESULTADOS

4.1. Determinación de los indicadores físicos del suelo

4.1.1. Textura del suelo

De acuerdo a la textura del suelo, el SAF y cocal presentan una textura franco arcilloso arenoso, en cambio el suelo del bosque secundario presenta una textura franco arenoso. Así mismo, el SAF y cocal presentan un porcentaje de arena de 55.68 %, variando en el porcentaje de arcilla que es de 29.04 y 25.04 % y limo de 15.28 y 21.28 %; con respecto al suelo del bosque secundario, el porcentaje de arena, limo y arcilla es de 63.68, 25.28 y 11.04 % respectivamente (Cuadro 17).

Cuadro 17. Textura de los tres sistemas de uso del suelo

| Sistemas de uso de suelo | Análisis mecánico | | | |
|-----------------------------|-------------------|-----------|--------|--------------------------|
| | Arena % | Arcilla % | Limo % | Textura |
| SAF | 55.68 | 29.04 | 15.28 | Franco Arcilloso Arenoso |
| Bosque secundario | 63.68 | 11.04 | 25.28 | Franco Arenoso |
| Cocal | 53.68 | 25.04 | 21.28 | Franco Arcilloso Arenoso |

4.1.2. Densidad aparente, resistencia a la penetración y velocidad de infiltración del suelo

La densidad aparente del suelo en el SAF, bosque secundario y cocal fueron 1.35, 1.22, y 1.49 g/cc respectivamente, notándose poca variación; con respecto al nivel de resistencia a la penetración fue mayor en el suelo del cocal a comparación de los demás sistemas y en el caso de la velocidad de infiltración del suelo, el bosque secundario y el SAF presentaron mayor infiltración que la del cocal (Cuadro 18).

Cuadro 18. Densidad aparente, resistencia a la penetración y velocidad de infiltración de los tres sistemas de uso del suelo

| Sistema de uso de suelo | DA (g/cc) | Resistencia a la penetración (kg/cm ²) | Velocidad de infiltración (cm/h) |
|-------------------------|-----------|--|----------------------------------|
| SAF | 1.35 | 1.96 | 33.94 |
| Bosque secundario | 1.22 | 1.60 | 45.22 |
| Cocal | 1.49 | 2.85 | 24.25 |

El suelo del cocal presenta mayor densidad aparente, seguida del SAF; sin embargo, en el suelo del bosque secundario la densidad aparente es menor (Figura 1).

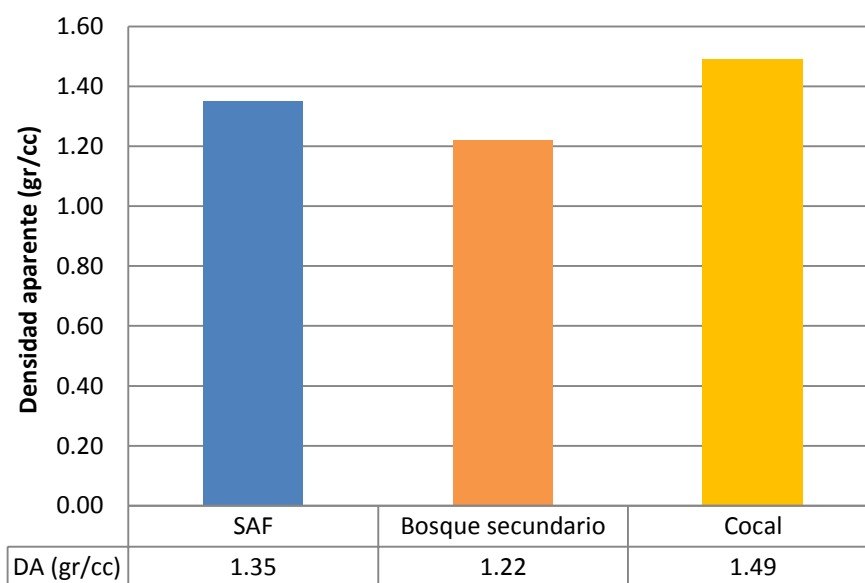


Figura 1. Densidad aparente de los tres sistemas de uso del suelo

En la resistencia a la penetración, el sistema de uso del suelo que presenta mayor nivel es el cocal con 2.85 kg/cm^2 , en segundo lugar el SAF con 1.96 kg/cm^2 y en menor nivel es el bosque secundario con 1.60 kg/cm^2 (Figura 2).

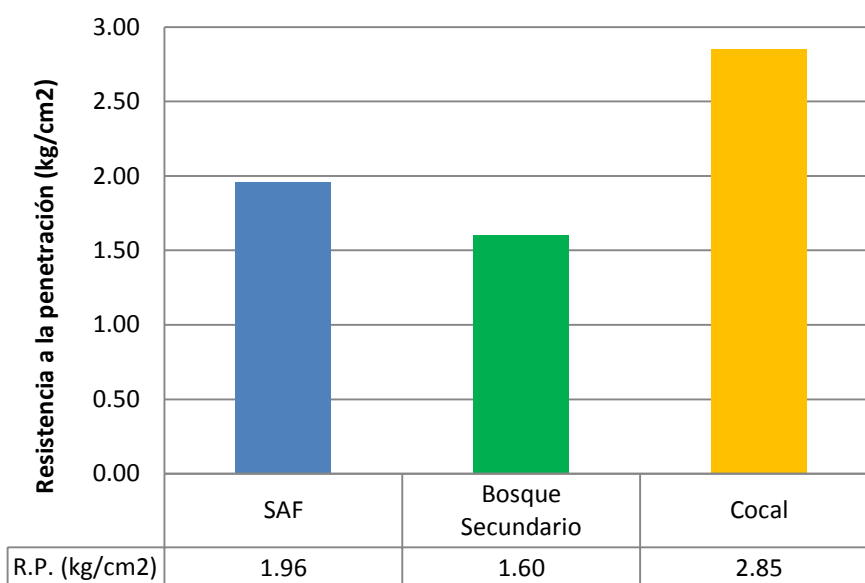


Figura 2. Resistencia a la penetración de los tres sistemas de uso del suelo

La velocidad de infiltración es mayor en el suelo del bosque secundario y el SAF con 45.22 y 33.94 cm/h y menor infiltración presentó el suelo del cocal con 24.25 cm/h (Figura 3).

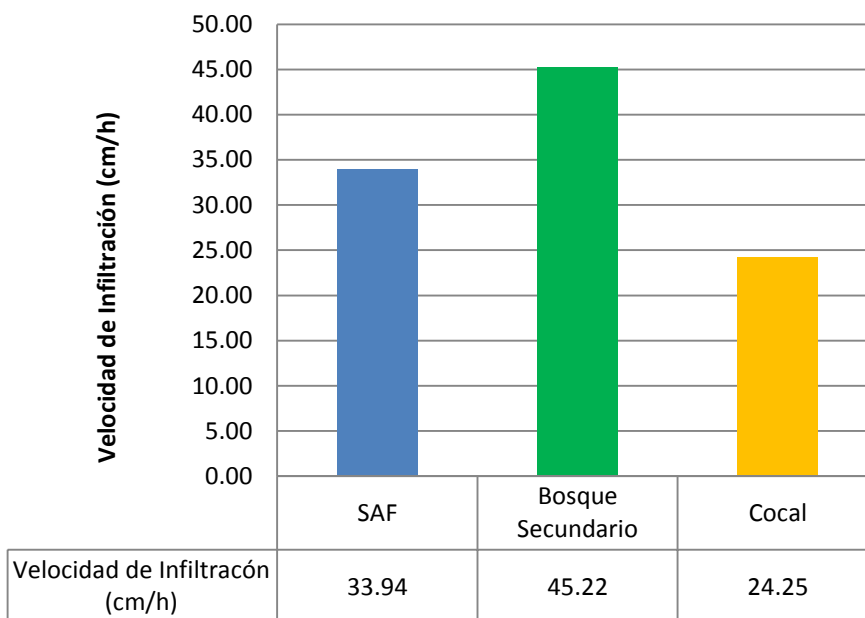


Figura 3. Velocidad de infiltración de los tres sistemas de uso del suelo

4.1.3. Temperatura del suelo

Con respecto a la temperatura del suelo, el SAF, bosque secundario y el cocal presentan temperaturas de 25.50, 23.98, 27.38 °C, siendo el cocal el de mayor temperatura (Cuadro 19 y Figura 4).

Cuadro 19. Temperatura de los tres sistemas de uso del suelo

| Sistema de uso de suelo | Temperatura del suelo (°C) |
|-------------------------|----------------------------|
| SAF | 25.50 |
| Bosque Secundario | 23.98 |
| Cocal | 27.38 |

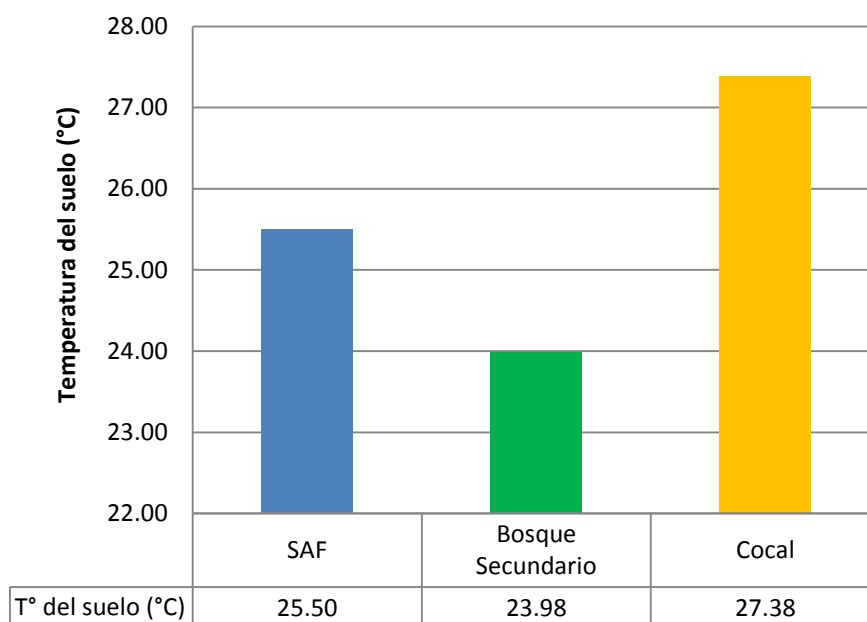


Figura 4. Temperatura de los tres sistemas de uso del suelo

4.2. Determinación de los indicadores químicos del suelo

4.2.1. pH del suelo y fósforo disponible

El pH del suelo fue mayor en el SAF con 4.77 a comparación del bosque secundario y el cocal, los cuales presentaron pH de 4.39 y 4.23 (Figura 5). Así mismo, el fósforo disponible en mayor cantidad lo obtuvo el SAF con $10.78 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, siendo más bajo en el bosque secundario con $2.89 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Cuadro 20 y Figura 6).

Cuadro 20. pH y fósforo disponible de los tres sistemas de uso del suelo

| Sistema de uso de suelo | pH del suelo | P ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) |
|-------------------------|--------------|--------------------------------------|
| SAF | 4.77 | 10.78 |
| Bosque secundario | 4.39 | 2.89 |
| Cocal | 4.23 | 3.10 |

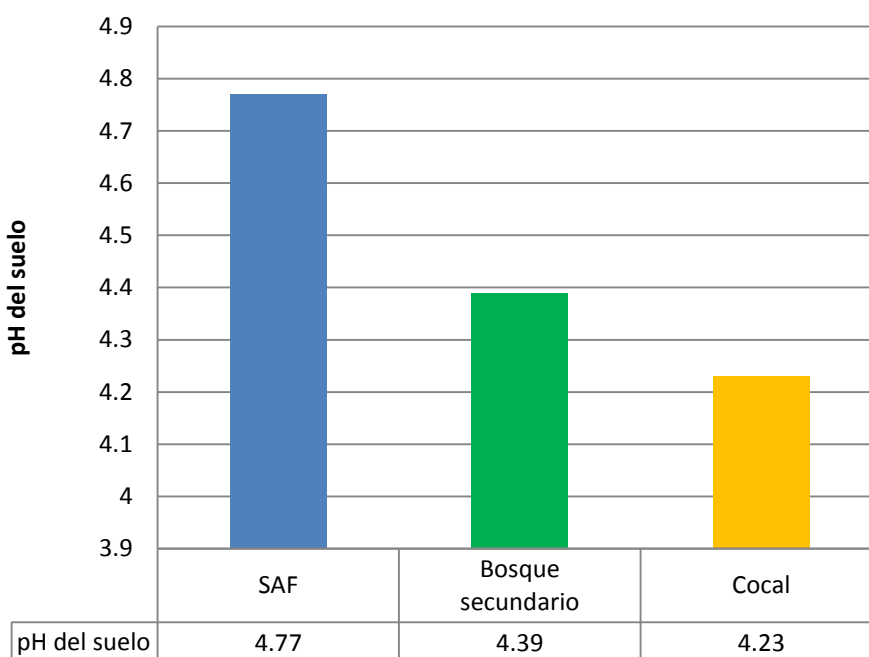


Figura 5. pH de los tres sistemas de uso del suelo

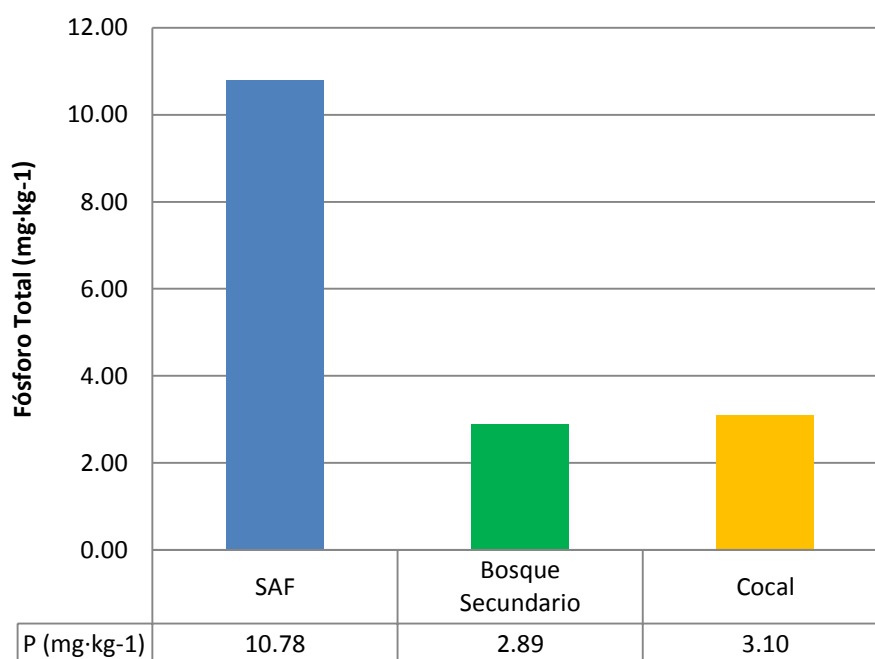


Figura 6. Fósforo disponible de los tres sistemas de uso del suelo

4.2.2. Materia orgánica y nitrógeno total del suelo

El porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total presente en mayor porcentaje fue en el bosque secundario con 5.90 y 0.27 %, seguidamente del SAF con 4.91 y 0.22 % respectivamente y en menor porcentaje el cocal con 2.29 y 0.10 % (Figura 7 y 8).

Cuadro 21. Porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total de los tres sistemas de uso del suelo

| Sistema de uso de suelo | % M.O. | % N total |
|-------------------------|--------|-----------|
| SAF | 4.91 | 0.22 |
| Bosque Secundario | 5.90 | 0.27 |
| Cocal | 2.29 | 0.10 |

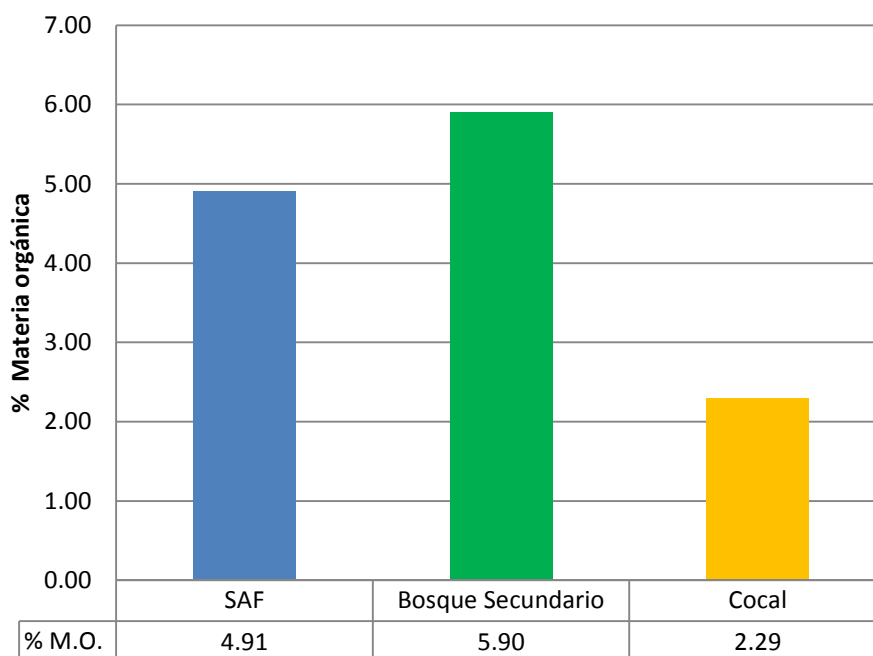


Figura 7. Materia orgánica de los tres sistemas de uso del suelo

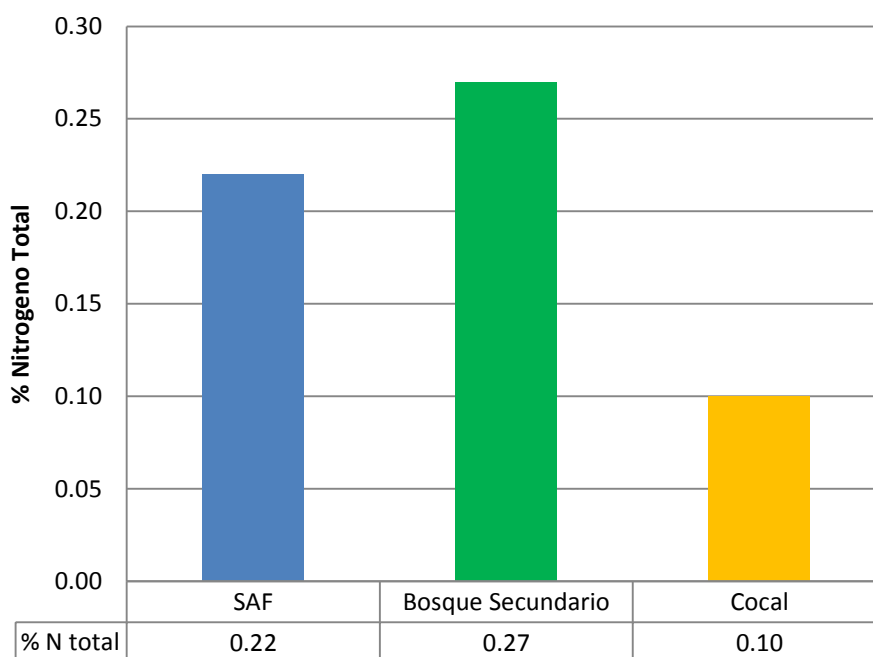


Figura 8. Nitrógeno total de los tres sistemas de uso del suelo

4.2.3. Potasio, calcio y magnesio intercambiable

Con respecto a los valores de potasio intercambiable, el SAF, bosque secundario y el cocal presentan valores de 0.09, 0.05 y 0.04 $\text{Cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivamente (Figura 9). Así mismo, el calcio intercambiable está presente en mayor cantidad en el SAF con 3.76 $\text{Cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ a comparación del bosque secundario y el cocal, los cuales presentan cantidades bajas de 1.92 y 1.40 $\text{Cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Figura 10). En el caso del magnesio intercambiable, el SAF presento 0.45 $\text{Cmol}^{(+)}\text{ kg}^{-1}$, obteniendo así una mayor cantidad seguidamente del bosque secundario y el cocal (Cuadro 22 y Figura 11).

Cuadro 22. Potasio, calcio y magnesio intercambiable de los tres sistemas de uso del suelo

| Sistema de uso de suelo | K (Cmol ⁽⁺⁾ ·kg ⁻¹) | Ca (Cmol ⁽⁺⁾ ·kg ⁻¹) | Mg (Cmol ⁽⁺⁾ ·kg ⁻¹) |
|-------------------------|--|---|---|
| SAF | 0.09 | 3.76 | 0.45 |
| Bosque Secundario | 0.05 | 1.92 | 0.25 |
| Cocal | 0.04 | 1.40 | 0.21 |

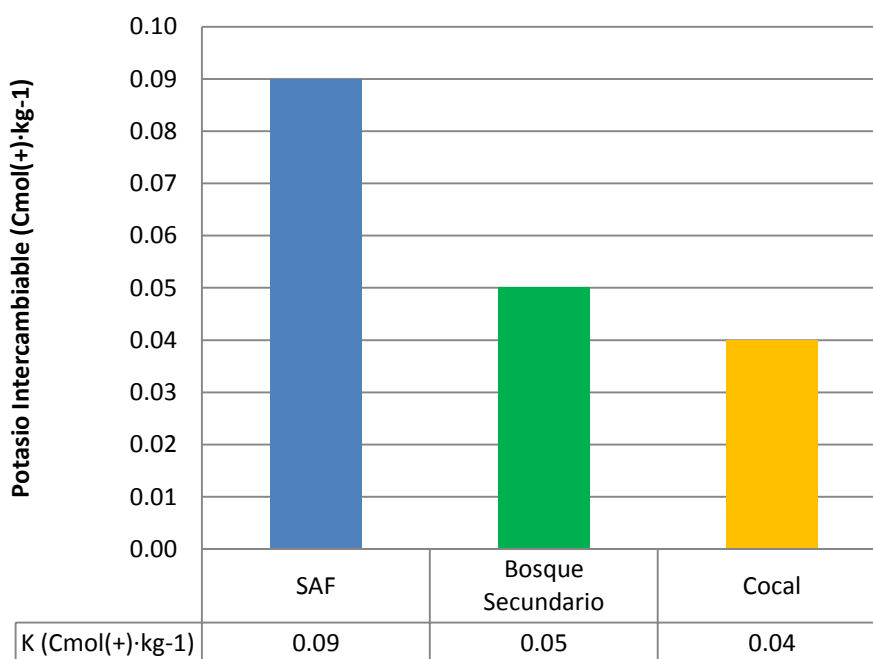


Figura 9. Potasio intercambiable de los tres sistemas de uso del suelo

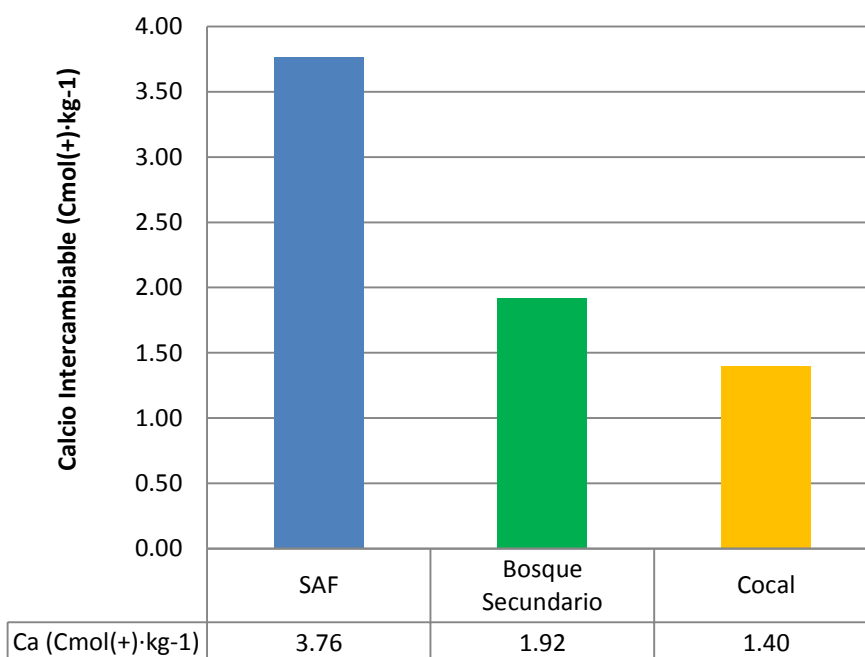


Figura 10. Calcio intercambiable de los tres sistemas de uso del suelo

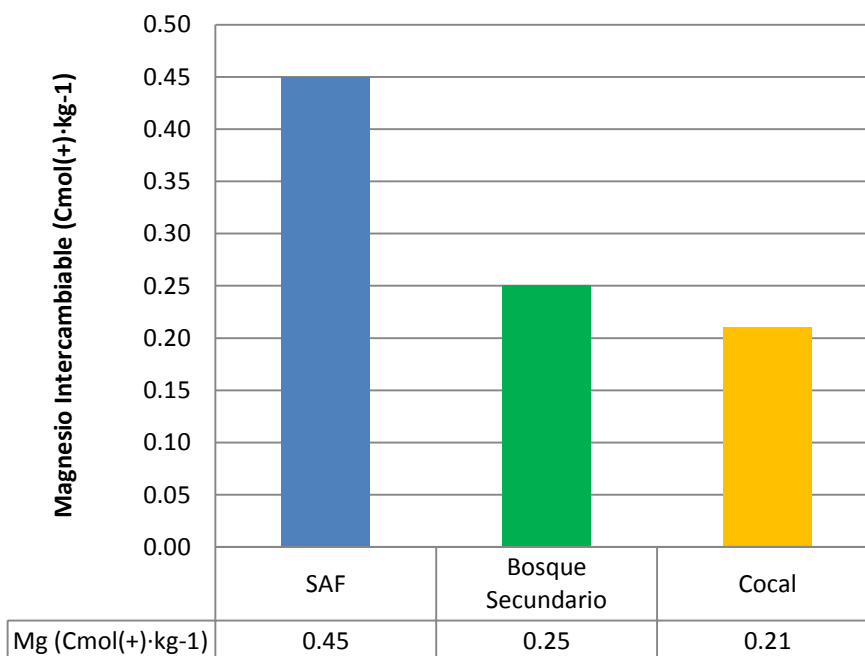


Figura 11. Magnesio intercambiable de los tres sistemas de uso del suelo

4.2.4. Capacidad de intercambio catiónico del suelo

La capacidad de intercambio catiónico del suelo en los tres sistemas en estudio, fue mayor en el SAF con $6.42 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$, seguidamente del cocal cuyo valor es de $6.27 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ y siendo el Bosque secundario, el de menor CIC de $5.38 \text{ Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$ (Cuadro 23 y Figura 12).

Cuadro 23. Capacidad de intercambio catiónico de los tres sistemas de uso del suelo

| Sistema de uso de suelo | CIC ($\text{Cmol}^{(+)} \cdot \text{kg}^{-1}$) |
|-------------------------|--|
| SAF | 6.42 |
| Bosque Secundario | 5.38 |
| Cocal | 6.27 |

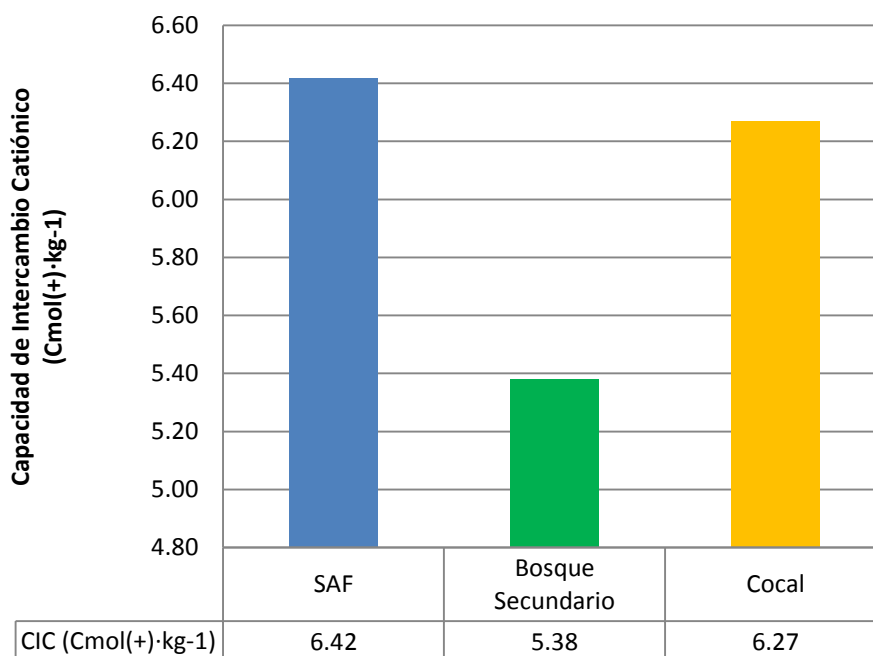


Figura 12. CIC de los tres sistemas de uso del suelo

4.2.5. Conductividad eléctrica del suelo

La conductividad eléctrica del suelo en lo que respecta a los sistemas en estudio, fue mayor en el SAF con $1.84 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, seguidamente del bosque secundario, cuyo valor es $1.80 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y siendo menor en el suelo del cocal con $1.65 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (Cuadro 24 y Figura 13)

Cuadro 24. Conductividad eléctrica de los tres sistemas de uso del suelo

| Sistema de uso de suelo | CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) |
|-------------------------|--------------------------------------|
| SAF | 1.84 |
| Bosque secundario | 1.80 |
| Cocal | 1.65 |

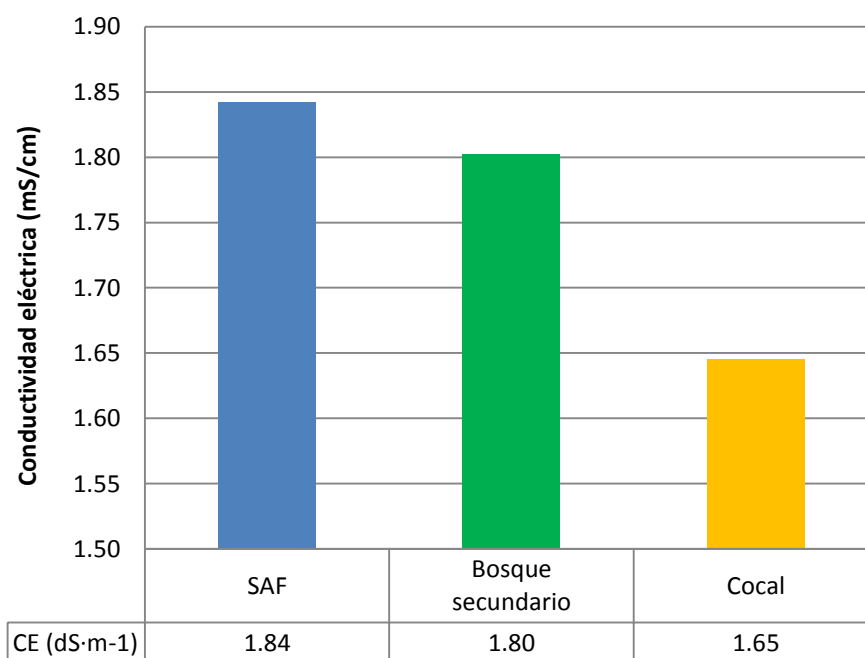


Figura 13. CE de los tres sistemas de uso del suelo

4.3. Determinación de la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS).

El subíndice de uso sustentable del suelo de los tres sistemas en estudio resultó mayor en el SAF con 0.93, correspondiente a la clasificación de calidad “aceptable”, es decir, que la calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables analizadas poco se alejan de los valores adecuados. En el caso del bosque secundario, el SUSS es de 0.77 correspondiente a la clasificación de calidad “sensible”, es decir, los parámetros medidos ocasionalmente se alejan de los valores óptimos. Así mismo, el SUSS del cocal resultó más bajo a comparación de los demás sistemas, su estimación fue de 0.57, correspondiente a la clasificación de calidad “marginal”, es decir, los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables (Cuadro 25).

Cuadro 25. Subíndice de uso sustentable del suelo y clasificación de la calidad de los tres sistemas en estudio.

| Sistema de uso de suelo | SUSS | Calidad |
|-------------------------|------|-----------|
| SAF | 0.93 | Aceptable |
| Bosque Secundario | 0.77 | Sensible |
| Cocal | 0.57 | Marginal |

El SAF presentó un mayor SUSS de 0.93 con respecto al bosque secundario y el cocal de 0.77 y 0.57, determinando de esa manera que el SAF presenta una mejor calidad a comparación de los demás sistemas en estudio (Figura 14).

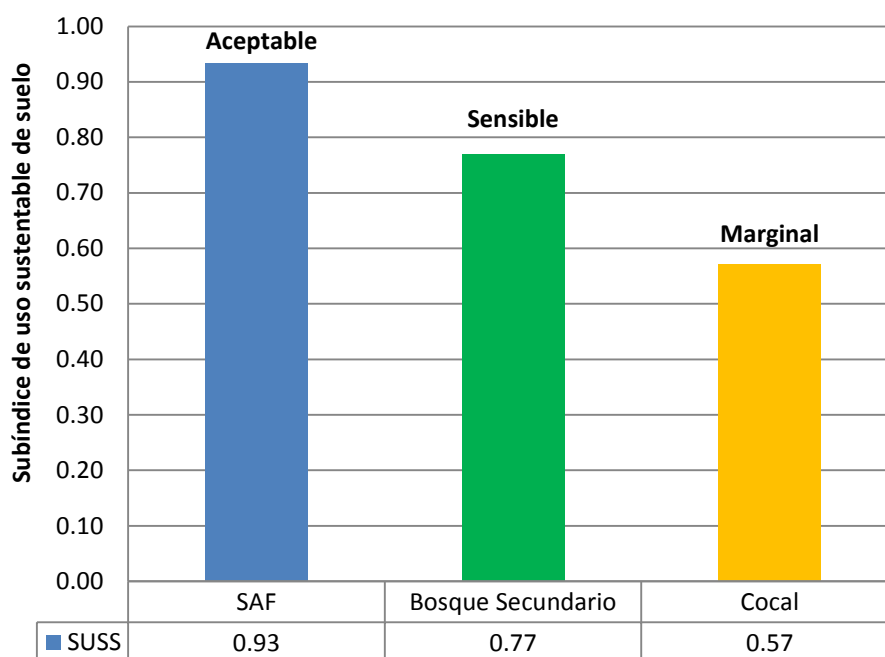


Figura 14. SUSS de los tres sistemas de uso del suelo

4.4. Determinar los indicadores que influyen más sobre la calidad del suelo mediante la correlación de Pearson.

Según la correlación de Pearson, los indicadores fisicoquímicos que muestran mayor influencia son: nitrógeno total, demostrando una significancia de 0.004 (< 0.05) con una correlación de Pearson de 1.000, lo cual significa que este indicador (%N) está fuertemente correlacionado con el SUSS. Otras variables correlacionadas son la M.O, Ca^{2+} y K^+ (Cuadro 33 del Anexo C, Apéndice 1).

En base al indicador más correlacionado que es el %N con respecto SUSS, se muestra la estimación de los parámetros del modelo de regresión por el método de mínimos cuadrados ordinarios (Cuadro 26).

Cuadro 26. Estimación de parámetros para el modelo de regresión lineal.

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes tipificados | t | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|--------------------------|-------|------|
| | B | Error típ. | Beta | | |
| 1 (Constante) | .460 | .294 | | 1.561 | .033 |
| % N | 1.511 | 1.407 | .732 | 1.074 | .004 |

Modelo de ecuación de regresión lineal:

$$\text{SUSS} = 0.46 + 1.511 * N + e_1$$

El gráfico de normalidad de los errores estandarizados de la variable SUSS y % N, se ajustan a la línea de tendencia, mostrando así una fuerte correlación entre ambas variables (Figura 15).

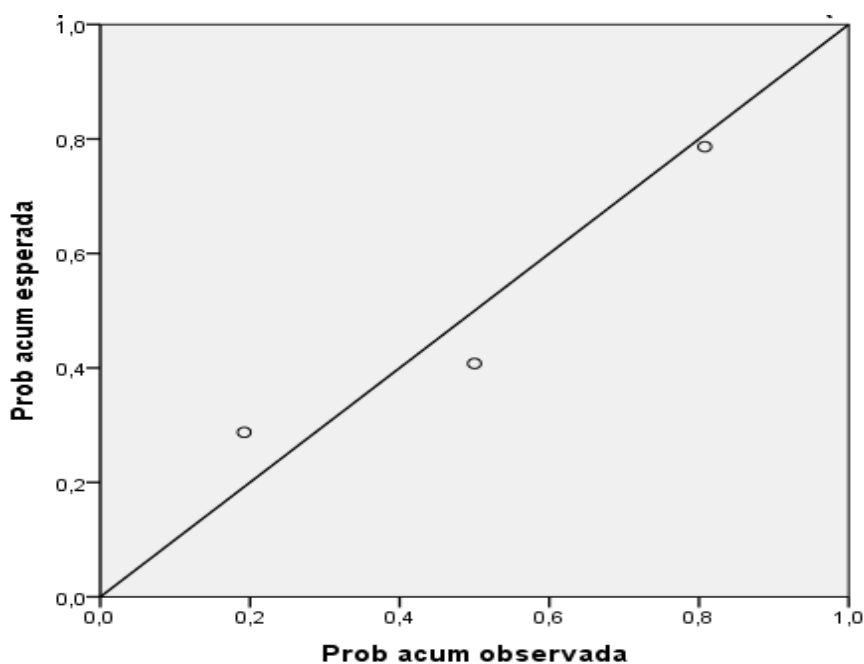


Figura 15. Modelo de correlación positiva en función del % N y el SUSS

V. DISCUSIÓN

5.1. Indicadores físicos del suelo

SAGARPA (2012) menciona que la acción de los factores formadores del suelo queda reflejada en la textura, ya que la roca tiende a dar una determinada clase textural, que quedará más patente cuanto más joven sea el suelo. El clima tiende a condicionar la textura en función de su agresividad. El relieve condiciona el transporte de las partículas. El tiempo tiende a dar una mayor alteración y aumenta la fracción arcilla. Esto concuerda con los datos obtenidos en el Cuadro 17 con respecto a la textura del suelo, donde el SAF y cocal presentan mayores porcentajes de arcilla obteniendo así una textura franco arcilloso arenoso a comparación del bosque secundario que presentó mayor proporción de arena y una textura franco arenoso.

La densidad aparente del suelo en los tres sistemas en estudio (Figura 1), se puede apreciar que el cocal y el SAF muestra una mayor densidad aparente (1.49 y 1.35 g/cc) a comparación del bosque secundario (1.22 g/cc), según la USDA (1999) la densidad aparente de los tres sistemas son menores a 1.6 g/cc, los cuales son consideradas como valores aceptables, que no afecta a la vegetación existente. Esto también se debe a la poca intervención humana con respecto a las actividades realizadas. Así mismo,

MENDOZA (2011) clasifica la relación entre la densidad aparente y la porosidad del suelo, donde el cocal (1.49 g/cc) presenta un 45% de porosidad, el SAF (1.35 g/cc) un 52% y el bosque secundario (1.22 g/cc) un 56%. En relación a esto, en un incremento de la densidad aparente la porosidad del suelo disminuye; esto concuerda con lo mencionado por SAGARPA (2012) que en un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo disminuye.

Con respecto a la resistencia de la penetración del suelo (Figura 2), el cocal presentó un valor de resistencia de 2.85 Kg/cm², el SAF de 1.96 Kg/cm² y el bosque secundario de 1.60 Kg/cm²; siguiendo el Cuadro 4 según BAZAN (1996) que corresponde a niveles de resistencia, considera que el valor obtenido para el cocal corresponde a un suelo duro y con respecto al SAF y bosque secundario, son considerados como suelos suaves. En relación a esto, el suelo del cocal presenta un valor alto de resistencia por la constante labranza que se viene realizando durante 20 años. Esto concuerda en lo estipulado por JIMENEZ y GONZÁLEZ (2006) donde el valor más alto de resistencia a la penetración lo obtuvo el correspondiente al suelo con 20 años de labranza lo cual indica que esta actividad afecta a las propiedades físicas del suelo, haciendo que la resistencia a la penetración sea mayor y actué con la densidad aparente como un indicador de compactación.

En el caso de la velocidad de infiltración, el suelo del bosque secundario presentó mayor infiltración (45.22 cm/h), seguido del SAF (33.94

cm/h), siendo el cocal el de menor infiltración (24.25) (Figura 3); siguiendo el Cuadro 3 según el USDA (1999) correspondiente a velocidades y clase de infiltración, considera que los valores obtenidos en los tres sistemas corresponden a infiltración rápida; esta diferencia se debe al tipo de textura que poseen los suelos, presentando el bosque secundario un suelo franco arenoso y por ello mayor infiltración; así mismo también depende del grado de compactación y por las prácticas de manejo. Esto concuerda con lo mencionado por FITZPATRICK (1984) y NUÑEZ (2007) donde la infiltración o velocidad con que el agua penetra en el suelo varía de forma considerable, pues los suelos con una estructura bien desarrollada o de textura gruesa (arenoso y franco arenoso) permiten la libre entrada del agua, mientras que los suelos arcillosos son prácticamente impermeables.

La temperatura del suelo de los sistemas en estudio (Figura 4), mostraron variación, obteniendo el suelo del cocal (27.38°C) una mayor temperatura a comparación del SAF (25.50°C) y el bosque secundario (23.98 °C), esto se debe a que el cocal no presenta cobertura vegetal y por ende la radiación solar es percibida directamente por el suelo . Esto concuerda con lo mencionado por Sandoval (2006), citado por PALOMINO (2015) donde la temperatura del suelo dependerá de la cantidad de radiación neta que llegue a la superficie terrestre y de la cobertura vegetal, pues a mayor cobertura menor será la temperatura del suelo.

5.2. Indicadores químicos del suelo

Teniendo en cuenta lo mencionado por SAGARPA (2012), que en regiones con lluvias abundantes se promueve el lavado de las bases y como consecuencia el suelo se acidifica (pH entre 4.0 y 6.5), provocando altas concentraciones de aluminio y manganeso solubles que al ser absorbidos por las raíces provocan intoxicación de la planta. Efectivamente, esta zona de estudio según INRENA (1994), tiene un clima tropical - húmedo - cálido con un régimen pluvial del orden de los 3,100 mm/anales y temperatura media anual de 25.5°C sobre los 800 m.s.n.m. Es por ello que el valor de pH obtenido para el sistema agroforestal, bosque secundario y cocal en la presente investigación, tal como se muestra en el Cuadro 20 líneas arriba, fue de 4.77, 4.39 y 4.23 respectivamente. Es por ello que según BAZAN (1996) mediante el Cuadro 6 correspondiente a los rangos interpretativos para el pH, clasifica al sistema agroforestal como un suelo muy fuertemente ácido, al bosque secundario y al cocal como suelos extremadamente ácidos.

El contenido de fósforo disponible presente en el SAF, bosque secundario y cocal, según se muestra en el Cuadro 20, es de 10.78 mg•kg⁻¹, 2.89 mg•kg⁻¹ y 3.10 mg•kg⁻¹ respectivamente. En tal sentido, siguiendo el Cuadro 9 elaborado por BAZÁN (1996), que corresponde a rangos interpretativos para el fósforo disponible y considerando el valor obtenido para el SAF, este se encuentra en un nivel bajo, el bosque secundario y cocal en un nivel muy bajo. De los Ángeles (2007); citado por PALOMINO (2015) hace referencia que los suelos ácidos (pH<5), normalmente tienen bajo contenido de

fósforo disponible para la planta y requieren niveles altos de fertilización con fósforo. De esta manera, teniendo en cuenta los valores de pH de suelo obtenidos para cada sistema de uso, los cuales están en el rango de ácido, es posible manifestar el porqué del nivel bajo de fósforo disponible en cada uno de ellos. Al respecto HUAMANI y MANSILLA (1995) reportan que la disponibilidad de fosforo es baja en pH bajos (ácidos) y esto acompañada de altas precipitaciones hacen que el fósforo precipite como fosfato insoluble de hierro y aluminio debido a su alta reactividad.

Según FASSBENDER (1975), la materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se presentan en el suelo, así mismo, los residuos de las plantas constituyen el material principal originario de la materia orgánica del suelo. Según el Cuadro 21 los valores de M.O. obtenidos con respecto al SAF tuvo un valor de 4.91 %, el bosque secundario un valor de 5.90 % y el cocal 2.29 %. En tal sentido, siguiendo el Cuadro 7, según BAZÁN (1996), que corresponde a rangos interpretativos para la materia orgánica y considerando el valor obtenido para el SAF, éste se encuentra en un nivel alto, el bosque secundario en un nivel muy alto y el cocal en un nivel medio. Esto se debe a que en el bosque secundario existe una mayor diversidad de especies arbustivas y arbóreas, por ende el nivel de M.O. será mayor. A diferencia del cocal en donde el nivel es mucho menor ya que en este sistema el suelo por lo general son desnudos o sea que no presentan cubierta vegetal.

Con respecto a los valores de nitrógeno obtenido en los diferentes sistemas según se muestra en el Cuadro 21, de 0.22 % para el SAF, 0.27 % para el bosque secundario y 0.1 % en el cocal; siguiendo el Cuadro 8 según BAZAN (1996), considera con un nivel alto para el SAF y el bosque secundario, y un nivel bajo para el caso del cocal. Esto se debe a que los factores ambientales afectaron la disponibilidad de nitrógeno, esto concuerda en lo estipulado por el USDA (1999) que la cantidad de nitrógeno en el suelo, en un momento dado, es una función de la velocidad a la cual los microorganismos descomponen la materia orgánica del suelo y esta velocidad va depender de la temperatura, humedad, aireación, tipo de residuos orgánicos, pH y otros factores.

Con respecto a los Cuadros 10, 11 y 12 según SAGARPA (2012), correspondiente a rangos interpretativos para potasio, calcio y magnesio intercambiable, considera al suelo del SAF (0.09, 3.76 y 0.45 $\text{Cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$), el bosque secundario (0.05, 1.92 y 0.25 $\text{Cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$) y el cocal (0.04, 1.40 y 0.21 $\text{Cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$) como suelos con nivel muy bajo de estos elementos. Esto se debe a que el suelo de los sistemas en estudio al presentar pH bajos indica que estos elementos se encuentran en bajos niveles, aparte de ello las condiciones ambientales influyen sobre estos. Esto concuerda en lo mencionado por la SAGARPA (2012), que suelos desarrollados bajo condiciones de precipitación más abundante puede haber pérdida de bases por efecto de la lixiviación y por extracción de los cultivos. Esto puede traer como consecuencia la reducción del pH y la escasez de nutrientes para los cultivos.

Con respecto a la CIC del suelo, este fue mayor tanto en el SAF como en el cocal a comparación del bosque secundario como se muestra en la Figura 12. Con ello, en el Cuadro 13 según BAZAN (1996) considera que estos suelos presentan un nivel medio de CIC. En relación a esto, los suelos del área en estudio están influenciados por los factores climáticos, ya que presentan constantes precipitaciones causando el lavado de esos elementos, esto conlleva a la disminución de los valores de la CIC. Esto concuerda con lo indicado por SANCHEZ (1981) menciona que se necesita un CIC de por lo menos $7 \text{ Cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$, para retener la mayoría de los cationes contra la lixiviación.

Con respecto a la conductividad eléctrica del suelo (Figura 13), los sistemas en estudio presentaron valores de $1.84 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ para el SAF, $1.80 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en el caso del bosque secundario y para el cocal $1.65 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. Cuyos valores en el Cuadro 14 según USDA (1999) considera al suelo del SAF y bosque secundario como ligeramente salino y al cocal como muy ligeramente salino, lo cual indica que estos valores de CE en el suelo no son perjudiciales para la planta. Esto concuerda con lo mencionado por el USDA (1999), que un exceso de sales inhibe el crecimiento de las plantas, al afectar el equilibrio suelo-agua.

5.3. Calidad del suelo

La calidad del suelo en base al SUSS correspondiente al Cuadro 16 según SAGARPA (2012), indica que el SAF es considerado como calidad

aceptable, para el bosque secundario calidad sensible y en el caso del cocal es considerado como calidad marginal. Esto se debe a que el SAF presentó buenas prácticas de manejo agrícola mientras que el bosque secundario se vio afectado anteriormente por actividades de tumba rozo y quema y el cocal por la constante labranza durante 20 años y la utilización intensiva de productos químicos. Esto concuerda en lo estipulado por URRELO (1997), que la aplicación de fertilizantes, herbicidas e insecticidas trae como consecuencia la contaminación del suelo y agua, disminuyendo la fertilidad del suelo y extrayendo aceleradamente los principales nutrientes.

VI. CONCLUSIONES

1. En base al SUSS se determinó que el SAF tiene la mejor calidad del suelo.
2. El suelo del SAF tuvo mayor contenido de P, K⁺, Ca²⁺ y Mg que los otros sistemas, pero su contenido de N total fue menor, lo que indica que puede haber pérdidas de este nutriente esencial.
3. El suelo del bosque secundario registró mayor % de materia orgánica y N total, lo que indica que en estos sistemas hay mayor y mejor reciclaje de biomasa y se mantiene mejor el N.
4. El suelo del cocal presentó bajas condiciones de porosidad y aireación del suelo, reflejados por la mayor DA y resistencia a la penetración, así como también la menor velocidad de infiltración.
5. El suelo del SAF presentó mayor CIC y CE a comparación de los demás sistemas.
6. Los indicadores fuertemente correlacionados fueron: N total, Ca²⁺, K⁺, y M.O.

VII. RECOMENDACIONES

1. Hacer mediciones periódicas, a lo largo del tiempo en un mismo sitio, para así monitorear cambios o tendencias en la modificación de los parámetros físicos y químicos del suelo.
2. Continuar con la evaluación de estos sistemas estudiados para así mejorar las prácticas de manejo del suelo.
3. No realizar muestreos del suelo en épocas de abonamiento, porque podría incidir en los valores de las propiedades del suelo.

**SOIL QUALITY IN THREE SYSTEMS OF USE IN TOWN RIO ESPINO -
MONZÓN**

VIII. ABSTRACT

Inadequate soil management with coca cultivation and the misuse of its production has affected the living areas most fragile of our Amazon, which is reflected in the low productivity of legal crops; degradation and loss of soil fertility. Based on this, in this study the following objectives: to determine the physical soil indicators, chemical indicators, soil quality by the subscript sustainable soil use (SUSS) and the most influential indicators of soil quality use three systems located in the locality of Rio Espino - Monzón. To do this, soil sampling is done and determine the physical and chemical indicators, based on this soil quality was determined using the methodology of SUSS, whose indicators were: texture, bulk density, resistance to penetration, infiltration, temperature, pH, available phosphorus, total nitrogen and organic matter, cation exchange capacity, potassium, calcium and magnesium interchangeable and electrical conductivity. Determining that the SAF and cocal filed a sandy clay loam and sandy loam secondary forest. The system had a higher bulk density was cocal (1.49 g / cc). The system with lower value of resistance to penetration was introduced by the secondary forest (1.60 kg / cm²). The SAF obtained a rate of 33.94 cm infiltration / h and a temperature of 25.50 °C. As to pH, the SAF presented higher value (4.77). The secondary forest showed lower levels

of available phosphorus (2.89 mg.kg^{-1}). The organic matter was lower in the cocal (2.29%). As for Total nitrogen it was higher in secondary forest (0.22%). The SAF had higher value of potassium, calcium and magnesium (0.09, 3.76 and $0.45 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$). The secondary forest has a lower value of CIC ($5.38 \text{ Cmol}^{(+)}.\text{kg}^{-1}$). The greatest value of electric conductivity was presented by SAF (1.84 dS.m^{-1}). Given the values obtained for each indicator the SUSS each system was determined by classifying the SAF, secondary forest and former cocal with acceptable, sensitive and marginal quality respectively, the SAF who won a best quality and total nitrogen indicator strongly correlated with soil quality.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARRIOS, L. 2011. Efectos del estiércol de cuy, aserrín y microorganismos de montaña en la génesis de la estructura del suelo degradado en Tingo María. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 86 p.
- BAZAN, R. 1996. Manual para el Análisis Químico Suelos Aguas Plantas. Universidad Nacional Agraria la Molina. Fundación para el Desarrollo Agrario. 54 p.
- BIBLIOTECA DE CAMPO. 2002. Tecnologías Orgánicas de la granja integral autosuficiente. Hogares Juveniles Campesinos. Bogotá, Colombia. Manual Agropecuario 1. 2284 p.
- BORNEMISZA, E. 1982. Introducción a la Química de Suelos, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, 74 p.
- DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DE LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA (USDA), 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. [EN LINEA]: NCRS, (http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf, 12 noviembre 2014).
- EMRICH, A., POKORNY, B., SEPP, C., 2000. Importancia del manejo de los bosques secundarios para la política de desarrollo. Trad. por Patrick

- Spittler y A. Carrillo. Eschborn, Alemania. ECO – Society for socioecological programme consultancy. 210 p.
- FASSBENDER, H. 1975. Química de suelos con énfasis en Suelos de América Latina. 2ed. San José, Costa Rica. IICA. 404 p.
- FITZPATRICK, E. 1984. Suelos, su formación clasificación y distribución. 2 Ed. México CECSA. Compañía Editorial Continental. 430 p.
- HUAMANI, H., MANSILLA, L. 1995. Caracterización del estado nutricional de los suelos degradados del alto Huallaga. En tropicultura. Tingo María, Perú. Vol. 1(2). 7-17 p.
- INRENA.1994. Mapa Ecológico del Perú, Guía explicativa. Reimpresión. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 179 p.
- JIMÉNEZ, R., GONZÁLEZ, V. 2006. Edafología; La calidad de suelos como medida para su conservación. Universidad Autónoma de Madrid. Dpto. de Geología y Geoquímica. Madrid, España, Vol. 13, 138 p.
- LABRADOR, J. 2008. Manual técnico manejo de suelo en los sistemas agrícolas de producción ecológica. [En línea]: Agroecología, (<http://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/manualestecnicos/manual-suelos-jlabrador.pdf>, 01 febrero 2015)
- MENDOZA, R. 2011. Manejo de suelos utilizando indicadores de calidad de suelo. Nicaragua. Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente, Universidad Nacional Agraria. Managua. Guía técnica 120 p.
- MINAG. 2011. Cadena agropecuaria de papa. Manejo y fertilidad de suelos. Guía técnica de orientación al productor. [En línea]: Agroaldia,

(<http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manualesboletines/papa/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>, 15 noviembre 2014)

MOSCATELLI, G., SOBRAL, R., NAKAWA, V. 2005. Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos. [En línea]: INTA, (<http://www.inta.gov.ar>, 13 enero 2015).

NAVARRETE, A., VELA, G., LÓPEZ, J., RODRIGUEZ, M. 2011. Naturaleza y utilidad de los indicadores de calidad del suelo. México, D. F. Vol 1: 29-37 p.

NUÑEZ, J. 2007. Fundamentos de edafología. 2 Ed. San José, Costa Rica. EUNED. 188 p.

ODUM, E. 1972. Ecología. 3 Ed. México. Nueva editorial Interamericana, S.A. 415 p.

PALOMEQUE, E. 2009. Sistemas agroforestales. [En línea]: SOCLA, (<https://www.socla.co/wpcontent/uploads/2014/sistemasagroforestales.pdf>, 16 mayo 2015).

PALOMINO, T. 2015. Calidad de los suelos en vegetación de diferentes edades en la localidad Caracol - distrito Chinchao- Huánuco. Tesis Ing. Recursos Naturales Renovables. Tingo María, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Selva. 94 p.

PIMENTEL, D., STACHOW, U., TAKACS, D., BRUBAKER, H., DUMAS, A., MEANEY, J., ONEIL, J., ONSI, D., CORZILIUS, D. 1992. La Conservación de la diversidad biológica en la agricultura – Sistemas Forestales. México. BioScience. 362 p.

- SANCHEZ, E. 1981 SUELOS: Bases técnicas para el desarrollo de los cultivos en la ceja de selva del Perú. Chanchamayo, Perú. PEPP. ADEX-USAID-DA. 86 p.
- SÁNCHEZ, J. 2007. Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. [En línea]: UNNE, (<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf>, 25 noviembre 2014).
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (SAGARPA). 2012. Subíndice de Uso Sustentable del Suelo – Metodología de Cálculo. [EN LINEA]: SMYE, (http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documento-metodologico_suelos.pdf, 02 noviembre 2015).
- URRELO, R. 1997. Cultivo de la coca en el Perú. IX Congreso nacional De Ingenieros Agrónomos. [EN LINEA]: Congreso, (<http://www.congreso.gob.pe/congresista/1995/rurrelo/coca.htm>, 15 enero 2015).
- VALLEJO, V. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano:- Experiencias en sistemas silvopastoriles. Colombia Forestal. Bogotá, Colombia. Vol. 16 (1): 83–99 p.
- VÉLEZ, M., VÉLEZ, J. 2002. Infiltración. Universidad Nacional de Colombia, Unidad de Hidráulica. 15 p.
- WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE. 2007. Servicios de asesoramiento técnico en determinación de la calidad del sitio, técnicas

de preparación de terrenos y anejo para plantaciones forestales. [En Línea]: Fondebosque, (<http://www.fondebosque.org.pe>, 06 enero 2015).

ANEXO

Apéndice 1. Formatos de evaluación de los indicadores fisicoquímicos del suelo – correlación de Pearson

Anexo A. Cuadro de datos de los indicadores fisicoquímicos del suelo

Cuadro 27. Datos de temperatura del suelo

| Temperatura | | | | |
|-------------|----------|-------------------|---------------|---------------|
| Horario | Puntos | Bosque secundario | SAF | Cocal |
| | | T° Suelo (°C) | T° Suelo (°C) | T° Suelo (°C) |
| 06:00 AM | P1 | 24.4 | 22.8 | 24.5 |
| 09:00 AM | P2 | 22.7 | 25.4 | 26.9 |
| 12:00 PM | P3 | 22.8 | 28.9 | 28 |
| 03:00 PM | P4 | 22.6 | 26.4 | 29.3 |
| 06:00 PM | P5 | 25.1 | 25.6 | 28.5 |
| 09:00 PM | P6 | 26.3 | 23.9 | 27.1 |
| | Promedio | 24.0 | 25.5 | 27.4 |

Cuadro 28. Datos de Resistencia a la penetración del suelo

| Resistencia a la penetración | | | |
|------------------------------|--------------------------|-------------------|----------|
| Punto | Sistema de uso del suelo | | |
| | SAF | Bosque secundario | Ex cocal |
| P1 | 1.85 | 1.50 | 2.25 |
| P2 | 1.75 | 1.75 | 2.25 |
| P3 | 2.25 | 1.65 | 3.15 |

| | | | |
|--------------------------------|------|------|------|
| P4 | 1.75 | 1.50 | 3.25 |
| P5 | 1.65 | 1.85 | 2.55 |
| P6 | 2.25 | 1.50 | 3.45 |
| P7 | 1.65 | 1.50 | 2.85 |
| P8 | 2.25 | 1.65 | 3.15 |
| P9 | 1.95 | 1.55 | 2.85 |
| P10 | 2.25 | 1.50 | 2.75 |
| Promedio (kg/cm ²) | 1.96 | 1.60 | 2.85 |

Cuadro 29. Datos para el cálculo de la velocidad de infiltración del suelo en el SAF

| Hora | Tiempo de | | Lámina infiltrada | | Velocidad de infiltración | |
|---------|-------------------|---------|-------------------|-----------|---------------------------|----------|
| | oportunidad (min) | parcial | parcial | acumulado | instantánea | promedio |
| 06:00am | 0 | | | | | |
| | 1 | 1 | 1.15 | 1.15 | 69 | 69.00 |
| | 1 | 2 | 0.80 | 1.95 | 48 | 58.50 |
| | 1 | 3 | 0.70 | 2.65 | 42 | 53.00 |
| | 1 | 4 | 0.70 | 3.35 | 42 | 50.25 |
| | 1 | 5 | 0.45 | 3.80 | 27 | 45.60 |
| | 1 | 6 | 0.30 | 4.10 | 18 | 41.00 |
| | 1 | 7 | 0.20 | 4.30 | 12 | 36.86 |
| | 3 | 10 | 0.70 | 5.00 | 14 | 30.00 |

| | | | | | |
|--|----|------|-------|-----|-------|
| 3 | 13 | 0.60 | 5.60 | 12 | 25.85 |
| 3 | 16 | 0.40 | 6.00 | 8 | 22.50 |
| 5 | 21 | 0.70 | 6.70 | 8.4 | 19.14 |
| 5 | 26 | 0.60 | 7.30 | 7.2 | 16.85 |
| 5 | 31 | 0.70 | 8.00 | 8.4 | 15.48 |
| 10 | 41 | 1.10 | 9.10 | 6.6 | 13.32 |
| 10 | 51 | 0.90 | 10.00 | 5.4 | 11.76 |
| Promedio de la velocidad de infiltración | | | | | 33.94 |

Cuadro 30. Datos para el cálculo de la velocidad de infiltración del suelo para el bosque secundario

| Hora | Tiempo de oportunidad (min) | | Lámina infiltrada (cm) | | Velocidad de infiltración (cm/h) | |
|---------|-----------------------------|-----------|------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
| | parcial | acumulado | parcial | acumulado | parcial | acumulado |
| 08:00am | 0 | | | | | |
| | 1 | 1 | 1.60 | 1.60 | 96 | 96.00 |
| | 1 | 2 | 1.10 | 2.70 | 66 | 81.00 |
| | 1 | 3 | 0.70 | 3.40 | 42 | 68.00 |
| | 1 | 4 | 0.50 | 3.90 | 30 | 58.50 |
| | 1 | 5 | 0.30 | 4.20 | 18 | 50.40 |
| | 1 | 6 | 0.20 | 4.40 | 12 | 44.00 |
| | 1 | 7 | 0.30 | 4.70 | 18 | 40.29 |

| | | | | | |
|--|----|------|-------|------|-------|
| 3 | 10 | 0.60 | 5.30 | 12 | 31.80 |
| 3 | 13 | 0.80 | 6.10 | 16 | 28.15 |
| 3 | 16 | 0.90 | 7.00 | 18 | 26.25 |
| 5 | 21 | 1.10 | 8.10 | 13.2 | 23.14 |
| 5 | 26 | 1.00 | 9.10 | 12 | 21.00 |
| 5 | 31 | 0.90 | 10.00 | 10.8 | 19.35 |
| Promedio de la velocidad de infiltración | | | | | 45.22 |

Cuadro 31. Datos para el cálculo de la velocidad de infiltración del suelo para el cocal

| Hora | Tiempo de oportunidad (min) | | Lámina infiltrada (cm) | | Velocidad de infiltración (cm/h) | |
|---------|-----------------------------|-----------|------------------------|-----------|----------------------------------|-----------|
| | parcial | acumulado | parcial | acumulado | parcial | acumulado |
| 10:00am | 0 | | | | | |
| | 1 | 1 | 0.8 | 0.8 | 48 | 48.00 |
| | 1 | 2 | 0.6 | 1.4 | 36 | 42.00 |
| | 1 | 3 | 0.6 | 2 | 36 | 40.00 |
| | 1 | 4 | 0.5 | 2.5 | 30 | 37.50 |
| | 1 | 5 | 0.4 | 2.9 | 24 | 34.80 |
| | 1 | 6 | 0.3 | 3.2 | 18 | 32.00 |
| | 1 | 7 | 0.25 | 3.45 | 15 | 29.57 |
| | 3 | 10 | 0.25 | 3.7 | 5 | 22.20 |

| | | | | | |
|--|----|------|------|-----|-------|
| 3 | 13 | 0.2 | 3.9 | 4 | 18.00 |
| 3 | 16 | 0.1 | 4 | 2 | 15.00 |
| 5 | 21 | 0.3 | 4.3 | 3.6 | 12.29 |
| 5 | 26 | 0.2 | 4.5 | 2.4 | 10.38 |
| 5 | 31 | 0.15 | 4.65 | 1.8 | 9.00 |
| 10 | 41 | 0.25 | 4.9 | 1.5 | 7.17 |
| 10 | 51 | 0.1 | 5 | 0.6 | 5.88 |
| Promedio de la velocidad de infiltración | | | | | 24.25 |

Anexo B. Cuadro de datos para el cálculo del SUSS

Cuadro 32. Normalización de indicadores fisicoquímicos para el cálculo del SUSS de los tres sistemas en estudio

| indicadores | Rn | | |
|-------------------|------|-------------------|-------|
| | SAF | Bosque secundario | Cocal |
| Materia Orgánica | 0.96 | 1.17 | 0.39 |
| Densidad Aparente | 0.26 | 0.53 | 0.17 |
| CE | 0.71 | 0.72 | 0.77 |
| pH | 1.87 | 2.06 | 2.14 |
| Fosforo | 1.93 | 0.52 | 0.55 |
| Magnesio | 1.13 | 0.63 | 0.53 |
| Calcio | 0.75 | 0.38 | 0.28 |
| CIC | 0.14 | 0.04 | 0.13 |
| Nitrógeno | 0.68 | 0.88 | 0.20 |

Rn: Normalización de indicadores

Anexo C. Cuadros de datos utilizados para la determinación de la correlación de Pearson.

Cuadro 33. Correlación de Pearson con nivel de significancia de 0.01 y 0.05 de las variables estudiadas.

| Variables | SUSS | CE | pH | DA | RP | M.O. | P | Mg | Ca | K | CIC | N | Infil. |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| Correlación de Pears | 1 | .967 | .957 | -.287 | -.736 | .746 | .819 | .908 | .930 | .922 | .070 | .732 | .517 |
| SUSS Sig. (bilateral) | | .165 | .188 | .815 | .473 | .464 | .389 | .275 | .240 | .253 | .956 | .477 | .654 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .967 | 1 | .851 | -.522 | -.885 | .892 | .645 | .771 | .805 | .792 | -.188 | .882 | .719 |
| CE Sig. (bilateral) | | | .352 | .650 | .308 | .299 | .554 | .439 | .404 | .418 | .880 | .313 | .489 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .957 | .851 | 1 | .004 | -.508 | .521 | .951 | .991 | .997 | .995 | .357 | .502 | .246 |
| pH Sig. (bilateral) | | | | .997 | .661 | .651 | .201 | .087 | .052 | .065 | .768 | .665 | .842 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | -.287 | -.522 | .004 | 1 | .859 | -.852 | .315 | .140 | .085 | .106 | .936 | -.863 | -.968 |
| DA Sig. (bilateral) | | | | | .342 | .351 | .796 | .911 | .946 | .932 | .230 | .337 | .161 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | -.736 | -.885 | -.508 | .859 | 1 | 1,000** | -.215 | -.386 | -.436 | -.417 | .624 | 1,000* | -.960 |
| RP Sig. (bilateral) | | | | | | | .862 | .748 | .713 | .726 | .571 | .004 | .181 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .746 | .892 | .521 | -.852 | 1,000** | 1 | .230 | .400 | .450 | .431 | -.612 | 1,000* | .956 |
| M.O. Sig. (bilateral) | | | | | | | .853 | .738 | .703 | .717 | .581 | .014 | .190 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .819 | .645 | .951 | .315 | -.215 | .230 | 1 | .984 | .973 | .977 | .629 | .209 | -.067 |
| P Sig. (bilateral) | | | | .796 | .862 | .853 | | .114 | .149 | .136 | .567 | .866 | .957 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .908 | .771 | .991 | .140 | -.386 | .400 | .984 | 1 | .998* | .999* | .481 | .380 | .112 |
| Mg Sig. (bilateral) | | | | .911 | .748 | .738 | .114 | | .035 | .022 | .681 | .752 | .928 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .930 | .805 | .997 | .085 | -.436 | .450 | .973 | .998* | 1 | 1,000* | .432 | .430 | .167 |
| Ca Sig. (bilateral) | | | | .946 | .713 | .703 | .149 | .035 | | .013 | .716 | .717 | .893 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .922 | .792 | .995 | .106 | -.417 | .431 | .977 | .999* | 1,000* | 1 | .450 | .411 | .146 |
| K Sig. (bilateral) | | | | .932 | .726 | .717 | .136 | .022 | .013 | | .703 | .730 | .907 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .070 | -.188 | .357 | .936 | .624 | -.612 | .629 | .481 | .432 | .450 | 1 | -.629 | -.818 |
| CIC Sig. (bilateral) | | | | .230 | .571 | .581 | .567 | .681 | .716 | .703 | | .567 | .391 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .732 | .882 | .502 | -.863 | 1,000* | 1,000* | .209 | .380 | .430 | .411 | -.629 | 1 | .962 |
| N Sig. (bilateral) | | | | .337 | .004 | .014 | .866 | .752 | .717 | .730 | .567 | | .176 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Correlación de | .517 | .719 | .246 | -.968 | -.960 | .956 | -.067 | .112 | .167 | .146 | -.818 | .962 | 1 |
| Infil. Sig. (bilateral) | | | | .161 | .181 | .190 | .957 | .928 | .893 | .907 | .391 | .176 | |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral) * La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral). SUSS: Subíndice de uso sustentable del suelo, CE: Conductividad eléctrica, pH: Reacción del suelo, DA: Densidad aparente, RP: Resistencia a la penetración, M.O.: Materia orgánica, P: Fósforo total, Mg: Magnesio intercambiable, Ca: Calcio intercambiable, K: Potasio intercambiable, CIC: Capacidad de intercambio catiónico, N: Nitrogeno total, Infil.: Velocidad de infiltración.

Apéndice 2. Plano de ubicación del área estudiada

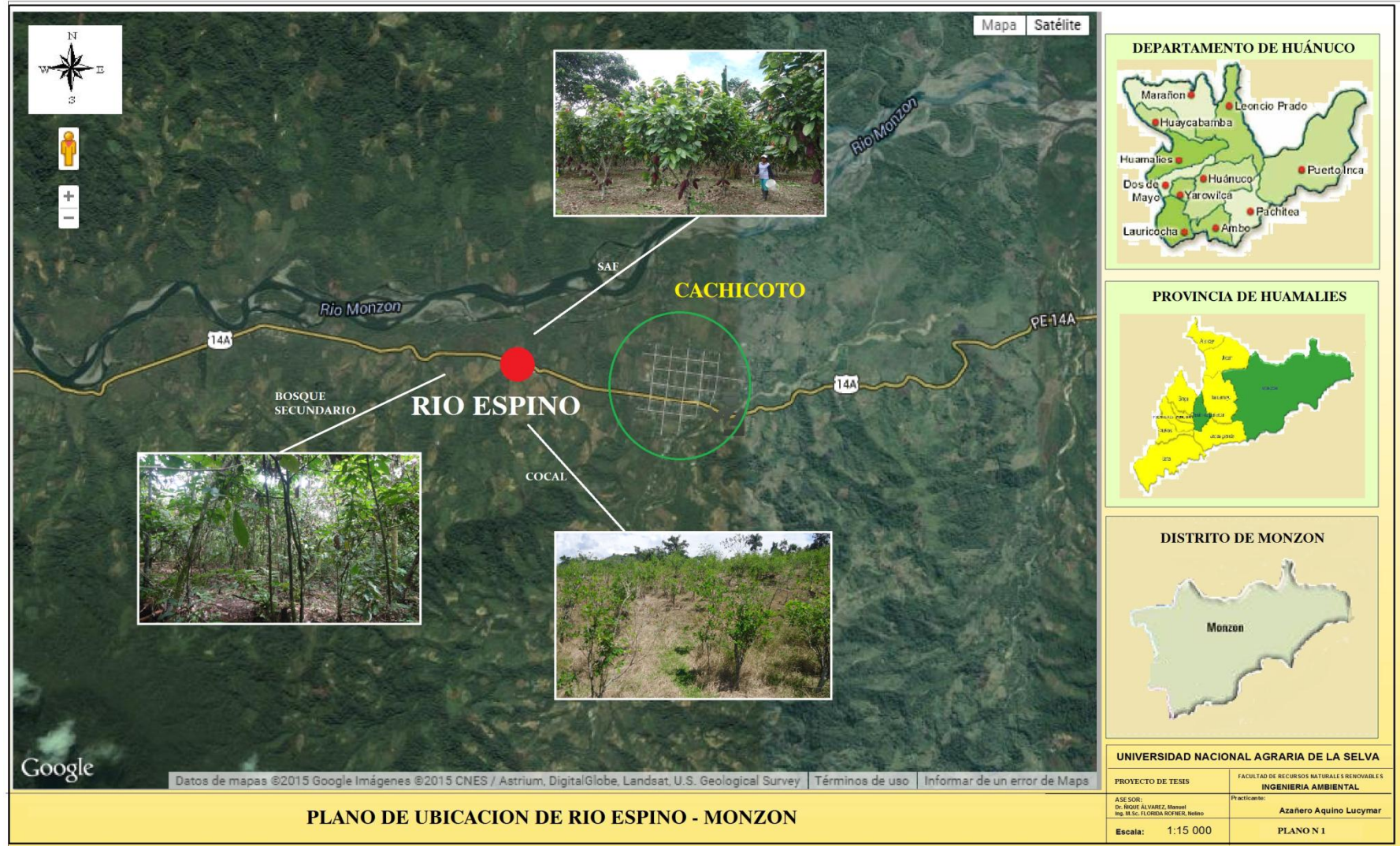


Figura 16. Plano de ubicación del área estudiada

Apéndice 3. Galería de fotos

Anexo C. Muestreo in situ de las propiedades físicas del suelo



Figura 17. Delimitación de la parcela a evaluar



Figura 18. Toma de muestra de suelo para su análisis fisicoquímico



Figura 19. Medición de la temperatura del suelo



Figura 20. Medición de la infiltración del suelo



Figura 21. Medición de la resistencia a la penetración del suelo

Anexo D. Evaluación de las propiedades químicas del suelo el laboratorio



Figura 22. Medición de la conductividad eléctrica del suelo



Figura 23. Medición de la densidad aparente del suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARÍA

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos

analisisdesuelosunas@hotmail.com

ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE: AZAÑERO AQUINO LUCYMAR

| Cod. Lab | DATOS | | | | ANÁLISIS MECÁNICO | | | | pH | M.O. | N | P | K | CIC | CAMBIABLES Cmol(+)/kg | | | | | | CICe | % | % | % |
|----------|----------------------|------------|--------|------------|-------------------|---------|-------|------------------------|------|------|------|-------|-------|------|-----------------------|------|------|------|------|------------------|------|-------|-------|-------|
| | | | | | Arena | Arcilla | Limo | Textura | | | | | | | 1:1 | % | % | ppm | ppm | Ca ⁺² | | | | |
| | % | % | % | Bas. Camb. | Ac. Camb. | Sat. Al | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| M540 | Sistema agroforestal | Río Espino | Monzón | Huamalies | 55.68 | 29.04 | 15.28 | Franco Arcillo Arenoso | 4.77 | 4.91 | 0.22 | 10.78 | 58.86 | ---- | 3.76 | 0.45 | 0.09 | 0.05 | 1.59 | 0.48 | 6.42 | 65.58 | 32.21 | 24.77 |
| M541 | bosque secundario | Río Espino | Monzón | Huamalies | 63.68 | 11.04 | 25.28 | Franco Arenoso | 4.39 | 5.90 | 0.27 | 2.89 | 54.42 | ---- | 1.92 | 0.25 | 0.05 | 0.11 | 2.43 | 0.63 | 5.38 | 40.33 | 56.73 | 45.11 |
| M542 | cocal | Río Espino | Monzón | Huamalies | 53.68 | 25.04 | 21.28 | Franco Arcillo Arenoso | 4.23 | 2.29 | 0.10 | 3.10 | 49.82 | ---- | 1.40 | 0.21 | 0.04 | 0.07 | 3.34 | 1.20 | 6.27 | 25.69 | 72.43 | 53.29 |

FECHA: 01/04/2015
 RECIBO N° 411844
 MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 LAB. ANÁLISIS DE SUELOS

 M.Sc. Bgo. Miguel Huayra Rojas
 J E F E

Figura 24. Análisis fisicoquímico de las muestras del suelo

ÍNDICE

| | Página |
|--|--------|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Objetivos..... | 2 |
| 1.1.1. Objetivo general | 2 |
| 1.1.2. Objetivos específicos | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. El suelo..... | 4 |
| 2.2. Calidad del suelo | 4 |
| 2.2.1. Indicadores de calidad | 6 |
| 2.2.1.1. Indicadores físicos | 6 |
| 2.2.1.2. Indicadores químicos | 12 |
| 2.3. Factores que influyen en las propiedades del suelo..... | 22 |
| 2.4. Sistemas de uso del suelo..... | 24 |
| 2.4.1. Bosque | 24 |
| 2.4.1.1. Bosque secundario | 25 |
| 2.4.2. Sistema agroforestal | 26 |
| 2.4.3. Cocal | 27 |
| 2.5. Subíndice de uso sustentable del suelo | 29 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 31 |
| 3.1. Ubicación del lugar de estudio..... | 31 |
| 3.2. Características ambientales del lugar de estudio..... | 31 |

| | |
|---|----|
| 3.2.1. Clima | 31 |
| 3.2.2. Topografía o relieve | 31 |
| 3.2.3. Características de los sistemas en estudio | 32 |
| 3.3. Materiales y equipos | 33 |
| 3.3.1. Materiales de campo | 33 |
| 3.3.2. Materiales de laboratorio | 33 |
| 3.3.3. Equipos de campo..... | 33 |
| 3.3.4. Equipos de laboratorio | 33 |
| 3.4. Metodología | 33 |
| 3.4.1. Enfoque metodológico..... | 33 |
| 3.4.2. Identificación de los sistemas de uso del suelo..... | 34 |
| 3.4.3. Determinación de los indicadores físicos del suelo..... | 35 |
| 3.4.4. Determinación de los indicadores químicos del suelo..... | 36 |
| 3.4.5. Análisis de datos | 37 |
| 3.4.5.1. Variables a evaluar | 37 |
| 3.4.5.2. Estimación de la calidad del suelo..... | 38 |
| IV. RESULTADOS | 42 |
| 4.1. Determinación de los indicadores físicos del suelo | 42 |
| 4.1.1. Textura del suelo..... | 42 |
| 4.1.2. Densidad aparente, resistencia a la penetración y velocidad de infiltración del suelo | 43 |

| | |
|--|----|
| 4.1.3. Temperatura del suelo | 45 |
| 4.2. Determinación de los indicadores químicos del suelo | 46 |
| 4.2.1. pH del suelo y fósforo disponible..... | 46 |
| 4.2.2. Materia orgánica y nitrógeno total del suelo | 48 |
| 4.2.3. Potasio, calcio y magnesio intercambiable..... | 49 |
| 4.2.4. Capacidad de intercambio catiónico del suelo | 52 |
| 4.2.5. Conductividad eléctrica del suelo | 53 |
| 4.3. Determinación de la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS) | 54 |
| 4.4. Determinación de los indicadores que influyen más sobre la calidad del suelo mediante la correlacion de Pearson..... | 55 |
| V. DISCUSIÓN..... | 57 |
| VI. CONCLUSIONES..... | 65 |
| VII. RECOMENDACIONES..... | 66 |
| VIII. ABSTRACT..... | 67 |
| IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 69 |
| ANEXO..... | 74 |

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



**“CALIDAD DEL SUELO EN TRES SISTEMAS DE USO EN LA LOCALIDAD
DE RIO ESPINO – MONZÓN”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

LUCYMAR AZAÑERO AQUINO

2016

DEDICATORIA

A Dios; mi principal fuerza, refugio e inspiración, por ser guía y camino de mi formación profesional.

A mis queridos padres Baldemar Azañero Correa y Maximiliana Aquino Yauri; por su amor e incondicional apoyo, en mi formación personal, espiritual y profesional.

A mis hermanos:
Diana, Abigail, Lucero, Britsila, Héctor, Yurico y Jean Pier; por su paciencia y compañía durante mis años de estudio.

A mis sobrinos:
Melanie, Jazmín, Habacuc y Jasper; por su cariño y la felicidad que me brindan cada día a su lado.

A mis abuelitas Elvia Correa, Encarna Yauri; por su gran amor y a mi abuelito Aurelio Azañero que desde el cielo me guía por un buen camino.

AGRADECIMIENTOS

- A Dios Padre por su protección y la fortaleza física y mental que me brindó en mi vida cotidiana, al guiarme por el buen camino durante mi formación profesional.
- A la UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA, mi Alma Mater, por albergarme en sus aulas durante mi formación profesional.
- A la Facultad de Recursos Naturales Renovables y a los docentes del Departamento de Ciencias Ambientales, por brindarme sus sabios conocimientos, experiencia profesional y todas las facilidades necesarias para la culminación de mi carrera profesional.
- Al Dr. Manuel Ñique Álvarez y al Ing. Nelino Florida Rofner, asesores del presente trabajo, por sus consejos y asesoramiento en el desarrollo científico y académico del presente trabajo de investigación.
- Al Ing. Jaime Torres, Ing. Roberto Obregón y al Ing. Sandro Ruiz, Jurados de esta investigación, por la amistad, exigencia, orientación y confianza que me brindaron en la realización del presente trabajo.
- A mi pareja Carlos E. Panaifo Gómez por su amor e incondicional apoyo que me brinda día a día.
- A mis amigas Tatiana Pomahualí, Milagros Esparza, y Kelly Ayala.

RESUMEN

El manejo inadecuado del suelo con cultivo de coca y el mal uso de su producción ha afectado las zonas de vida más frágiles de nuestra Amazonía, lo cual se reflejan en la baja productividad de los cultivos lícitos; degradación y pérdida de fertilidad del suelo. En base a esto, en el presente estudio se plantearon los siguientes objetivos: determinar los indicadores físicos del suelo, indicadores químicos, la calidad del suelo mediante el subíndice de uso sustentable del suelo (SUSS) y los indicadores más influyentes sobre la calidad del suelo en tres sistemas de uso ubicados en la localidad de Rio Espino - Monzón. Para ello, se realizó el muestreo del suelo y así determinar los indicadores fisicoquímicos, en base a esto se determinó la calidad del suelo utilizando la metodología del SUSS, cuyos indicadores fueron: textura, densidad aparente, resistencia a la penetración, infiltración, temperatura, pH, fósforo disponible, nitrógeno total y materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, potasio, calcio y magnesio intercambiable y conductividad eléctrica. Determinándose que el SAF y el cocal presentaron una textura franco arcilloso arenoso y el bosque secundario franco arenoso. El sistema que presentó mayor densidad aparente fue el cocal (1.49 g/cc). El sistema con menor valor de resistencia a la penetración lo presentó el bosque secundario (1.60 kg/cm²). El SAF obtuvo una velocidad de infiltración de 33.94 cm/h y una temperatura de 25.50 °C. En cuanto al pH, el SAF presentó mayor valor (4.77). El bosque secundario presentó menor nivel de fósforo disponible (2.89 mg·kg⁻¹). La materia orgánica fue menor en el cocal (2.29 %). En cuanto

a nitrógeno total fue mayor en el bosque secundario (0.22%). El SAF presentó mayor valor de potasio, calcio y magnesio (0.09, 3.76 y 0.45 $\text{Cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$). El bosque secundario presentó menor valor CIC (5.38 $\text{Cmol}^{(+)}\cdot\text{kg}^{-1}$). El mayor valor de conductividad eléctrica lo presentó el SAF (1.84 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Teniendo en cuenta los valores obtenidos de cada indicador se determinó el SUSS de cada sistema, clasificando al SAF, bosque secundario y ex cocal con calidad aceptable, sensible y marginal respectivamente, siendo el SAF quien obtuvo una mejor calidad y el nitrógeno total el indicador fuertemente correlacionado con la calidad del suelo.

ÍNDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|---|--------|
| 1. Propiedades físicas indicadores de la calidad del suelo | 7 |
| 2. Rangos interpretativos para densidad aparente y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo | 9 |
| 3. Velocidades y clases de infiltración | 11 |
| 4. Niveles de resistencia a la penetración del suelo | 12 |
| 5. Propiedades químicas indicadores de la calidad del suelo..... | 13 |
| 6. Rangos interpretativos para el pH | 14 |
| 7. Rangos interpretativos para la materia orgánica | 15 |
| 8. Rangos interpretativos para el nitrógeno total | 17 |
| 9. Rangos interpretativos para el fósforo disponible | 18 |
| 10. Rangos interpretativos para potasio (K) intercambiable | 19 |
| 11. Rangos interpretativos para calcio (Ca) intercambiable | 20 |
| 12. Rangos interpretativos para magnesio (Mg) intercambiable..... | 20 |
| 13. Rangos interpretativos para la CIC..... | 21 |
| 14. Rangos interpretativos para la conductividad eléctrica..... | 22 |
| 15. Parámetros edáficos, unidades de mediada, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo..... | 40 |
| 16. Rangos interpretativos del SUSS | 41 |
| 17. Textura de los tres sistemas de uso del suelo..... | 42 |
| 18. Densidad aparente, resistencia a la penetración y velocidad de infiltración de los tres sistemas de uso del suelo | 43 |

| | | |
|-----|---|----|
| 19. | Temperatura de los tres sistemas de uso del suelo..... | 45 |
| 20. | pH y fósforo disponible de los tres sistemas de uso del suelo..... | 46 |
| 21. | Porcentaje de materia orgánica y nitrógeno total de los tres sistemas de uso del suelo | 48 |
| 22. | Potasio, calcio y magnesio intercambiable de los tres sistemas de uso del suelo..... | 50 |
| 23. | Capacidad de intercambio catiónico de los tres sistemas de uso del suelo | 52 |
| 24. | Conductividad eléctrica de los tres sistemas de uso del suelo | 53 |
| 25. | Subíndice de uso sustentable del suelo y clasificación de la calidad de los tres sistemas en estudio | 54 |
| 26. | Estimación de parámetros para el modelo de regresión lineal | 56 |
| 27. | Datos de temperatura del suelo..... | 75 |
| 28. | Datos de resistencia a la penetración del suelo | 75 |
| 29. | Datos para el cálculo de la velocidad de infiltración del suelo en el SAF | 76 |
| 30. | Datos para el cálculo de la velocidad de infiltración del suelo para el bosque secundario | 77 |
| 31. | Datos para el cálculo de la velocidad de infiltración del suelo para el cocal | 78 |
| 32. | Normalización de indicadores fisicoquímicos para el cálculo del SUSS de los tres sistemas en estudio | 79 |
| 33. | Correlación de Pearson con nivel de significancia de 0.01 y 0.05 de las variables estudiadas..... | 80 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|---|--------|
| 1. Densidad aparente de los tres sistemas de uso del suelo | 44 |
| 2. Resistencia a la penetración de los tres sistemas de uso del suelo | 44 |
| 3. Velocidad de infiltración de los tres sistemas de uso del suelo | 45 |
| 4. Temperatura de los tres sistemas de uso del suelo | 46 |
| 5. pH de los tres sistemas de uso del suelo | 47 |
| 6. Fósforo total de los tres sistemas de uso del suelo | 47 |
| 7. Materia orgánica de los tres sistemas de uso del suelo | 48 |
| 8. Nitrógeno total de los tres sistemas de uso del suelo..... | 49 |
| 9. Potasio intercambiable de los tres sistemas de uso del suelo..... | 50 |
| 10. Calcio intercambiable de los tres sistemas de uso del suelo..... | 51 |
| 11. Magnesio intercambiable de los tres sistemas de uso del suelo | 51 |
| 12. CIC de los tres sistemas de uso del suelo..... | 52 |
| 13. CE de los tres sistemas de uso del suelo | 53 |
| 14. SUSS de los tres sistemas de uso del suelo | 55 |
| 15. Modelo de correlación positiva en función del % N y el SUSS | 56 |
| 16. Plano de ubicación del área estudiada | 81 |
| 17. Delimitación de la parcela evaluada | 82 |
| 18. Toma de muestras de suelo para su análisis fisicoquímico..... | 82 |
| 19. Medición de la temperatura del suelo | 83 |
| 20. Medición de la infiltración del suelo | 83 |
| 21. Medición de la resistencia a la penetración del suelo..... | 84 |

| | | |
|-----|--|----|
| 22. | Medición de la conductividad eléctrica del suelo | 84 |
| 23. | Medición de la densidad aparente del suelo..... | 85 |
| 24. | Análisis fisicoquímico de las muestras del suelo | 86 |