

Efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) sobre los suelos de comunidades asentadas en la red ferroviaria Cochabamba-Cliza

Edgar Flores Cota

Resumen

En el presente trabajo se ubicaron los rodales de eucaliptos (*Eucalyptus globulus* L.) introducidos el año 1943 en 13 comunidades del Valle alto, de las cuales se tomaron 9 como objeto de estudio (Sacha Calle, Flores Rancho, Kaluyo, Arpita, Llave Mayu, Aranjuez, Rayo Pampa, Jatán Pata, Villa Cabot), en ellas, se delimito las parcelas agrícolas y forestales, cuantificándose el número de individuos de especies nativas, exóticas existentes en cada bloque. También se realizó el muestreo de suelos (0-20cm) y subsuelo (20-50cm) por el método de zig-zag. Finalmente, se levantó información de los beneficios que brindan y los problemas generados a nivel social, mediante encuestas estructuradas.

Se evalúa los suelos de los rodales de eucaliptos (*Eucalyptus globulus* L.), en términos de macro elementos esenciales NPK. La mayor deficiencia se la encontró en el fósforo disponible, en el suelo con 5,6 ppm y del subsuelo con 3,5 ppm. El sistema agrícola posee valores superiores de 8,4 ppm en el suelo y 4,7 ppm en subsuelo, los demás elementos mantienen una concentración alta en el sistema forestal, en relación a la parcela agrícola que posee valores inferiores, situación similar se presenta en los tenores de materia orgánica con 4,52% en los dos horizontes. El pH de las parcelas forestales tiende a ser ligeramente ácido a nivel de suelo y medianamente básico en el subsuelo, en comparación con el sistema agrícola, que presenta un pH neutro, ambas parcelas no presentan salinidad.

Las densidades real y aparente del suelo en forma genérica presenta variaciones mínimas, los resultados de la densidad, están por debajo de límite de la capa arable recomendable, lo cual es aceptable, de manera que la mayor porosidad total esta en la parcela forestal en los dos horizontes, en relación a la parcela agrícola que presenta espacios porosos totales menores, lo que implica compactación, por tanto, en ambas parcelas la porosidad es no satisfactoria. En conclusión el análisis del suelo realizado en las parcelas forestales, tanto en la capa superficial como subsuperficial, muestra modificaciones físico-químicas considerables, en relación a las parcelas agrícolas.

A nivel social, la mayoría de las comunidades tiene problemas en sus parcelas agrícolas, por la reducción de las áreas productivas provocado por la raíz (alelopatía), y viviendas, por la altura, lo cual genera un riesgo por efecto del viento. El único beneficio para las comunidades es la extracción de leña (ramas y hojas) para uso como combustible. En general, la influencia de las plantaciones en las comunidades es considerada negativa.

1 Introducción

La temática forestal además de concentrarse en maximizar la producción maderera de los bosques, centra cada vez más su atención en las plantaciones forestales comerciales debido a la creciente demanda de madera. Bolivia cuenta con una de las mayores riquezas forestales del continente. Se caracteriza porque posee un área de 53 millones de hectáreas de bosques naturales, representando el 48 % de la superficie del país, de las cuales 29 millones de hectáreas están clasificadas como altamente productivas.

Según la Ley Medio Ambiente 1333, el uso de suelos para actividades agropecuarias forestales debe efectuarse manteniendo su capacidad productiva, aplicándose técnicas de manejo que eviten la pérdida o degradación de los mismos, asegurando de esta manera su conservación y recuperación. Sin embargo las plantaciones forestales realizadas en años anteriores antes de la promulgación de la ley, no consideran las normas y técnicas de intervención o simplemente no poseen una ficha ambiental para la introducción de especies exóticas.

El impacto ambiental maneja un amplio rango de temáticas, necesarias para evitar el deterioro de los recursos naturales en áreas aledañas o donde se establecen las plantaciones forestales, siendo estas las variables más importantes y consideradas en las comunidades establecidas en esos predios que se ven involucradas de manera directa con las plantaciones forestales establecidas en dicho lugar.

Uno de los objetivos principales de las plantaciones de eucalipto realizadas en el año 1943 en Valle alto y bajo, fue el de controlar la humedad de los suelos en el rango mínimo de 15 a 40 m de distancia por cada lado de la vía férrea. En este contexto el análisis de las variables, se la realizo con mayor énfasis en los factores causantes en el proceso de variación de las propiedades físicas y químicas. Un conjunto de principios y técnicas en el estudio de suelos cumplen el objetivo deseado, en consecuencia están condicionadas por una serie de parámetros: climáticos, geomorfológicos, edafológicos e hidrológicos.

Dentro de las comunidades de la zona de estudio, las plantaciones de *Eucalyptus* *sp.* provocan problemas a nivel social, lo que ha conducido a la pérdida del entorno forestal, considerado como patrimonio para los diferentes municipios, en este contexto la presente investigación determino el estado actual de las propiedades físicas y químicas del suelo, por la introducción de eucaliptos y los beneficios que genera a nivel social en las comunidades en el Valle Alto del Departamento de Cochabamba.

2 Objetivos e hipótesis

2.1 Objetivo general

Evaluar el impacto producido por la plantación de eucaliptos (*Eucalyptus globulus* L.) sobre los suelos y beneficios en 9 comunidades asentadas sobre la red ferroviaria Cochabamba–Cliza.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar el efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) sobre las propiedades físicas y químicas de los suelos.
- Evaluar la influencia de las plantaciones forestales sobre las viviendas y las parcelas agrícolas.
- Describir los beneficios que genera la biomasa de las plantaciones a las comunidades aledañas a las zonas de estudio.

2.3 Hipótesis

El efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) en las propiedades de los suelos y los impactos que genera en las comunidades es diferente en al menos una de ellas.

3 Marco teórico

3.1 Características del municipio Cliza

El municipio de Cliza pertenece a la provincia de Germán Jordán; el idioma dominante es el quechua, la densidad poblacional es de 365,7 habitantes/km², haciendo una población total según el censo del 2001 de 19.992 habitantes (POA del Municipio de Cliza, año 2003). Es la primera sección de la Provincia Germán Jordán, que se encuentra a altitudes entre 2.800 a 3.000 m.s.n.m. Según información del Plan de Desarrollo Municipal, del total de la población, un 53,6% estarían distribuidos en 42 comunidades rurales y el restante 46,4 % se asentaría en las 8 zonas o juntas vecinales del centro poblado (capital provincial). Todo el municipio está ubicado en la zona de valle, lo que le da cierta homogeneidad geográfica y, por su escasa extensión de 48,7 km², también social.

3.2 Características del municipio Arbieta

La población del Municipio de Arbieta, es de 7.816 habitantes, se aprecia un 78% de las viviendas habitadas y el 22% abandonadas ya que sus habitantes han migrado temporalmente a las principales ciudades de Bolivia o al extranjero. El municipio se encuentra a altitudes medias (entre 2.800 m y 3.000 m), la mayor parte de las tierras se destinan al pastoreo; en poca escala a cultivos de subsistencia, existiendo porciones cubiertas con vegetación nativa arbustiva y arbórea [3].

3.3 Descripción general de la especie

3.3.1 Características de los eucaliptos

El genero *Eucalyptus* sp. comprende unas 600 especies de árboles, la mayoría de los cuales se encuentran en Australia, aunque, en menor número se pueden hallar en Indonesia y Guinea. Son árboles muy resistentes a la sequía por su capacidad de almacenar agua en las raíces. (Los nativos han aprendido a extraer esta agua y utilizarla

como bebida en caso de necesidad) También resulta muy característica en ellos el crecimiento en altura. Todo ello ha llevado a plantarlos en muchas regiones del mundo, pero especialmente en aquellas zonas tropicales o subtropicales provistas de una aridez considerable, de manera que los habitantes de estas zonas pueden obtener de estos árboles madera para quemar, para sus construcciones y sombra contra el tórrido sol.

3.3.2 Usos del eucalipto

Su interés se centraba en el uso de esta planta como árbol ornamental, barrera para vientos o para sanear zonas pantanosas. Poco a poco las plantaciones de eucaliptos se fueron extendiendo por países cálidos y subtropicales hasta convertirse en las especies más utilizadas a lo largo de todo el mundo como árbol forestal. Las primeras plantaciones de eucalipto, empleadas como cerca viva, leña, especie ornamental y en el área de la construcción. Iniciando en el siglo XX, en la recuperación de áreas erosionadas y en la protección de algunas fuentes de acueductos. Pese a que es considerada de baja calidad, algunas de las especies tienen propiedades especiales para ser utilizadas en la elaboración de estructuras arquitectónicas y para la fabricación de postes para comunicaciones, suelos de parquet, apeas de mina o tableros de fibras.

3.4 Suelos

El suelo es la capa superior de la tierra que está compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos (agua y sustancias disueltas), gases (principalmente oxígeno y dióxido de carbono) y contiene organismos vivos. Todos estos elementos le dan sus propiedades físicas y químicas.

Entre las propiedades de los suelos se encuentran:

- **Propiedades químicas:** La composición química de las partículas determinan la permeabilidad, la capilaridad, la tenacidad, la cohesión y otras propiedades resultantes de la combinación de todos los integrantes del suelo, capacidad de intercambio iónico, sales solubles y óxidos amorfos-sílice alúmina y óxidos de hierro libres, iones asociados a los coloides, pH del suelo y la conductividad eléctrica.
- **Propiedades físicas:** Entre estas el color, textura, estructura, porosidad, estabilidad de agregados, permeabilidad, profundidad efectiva, drenaje. Densidad de las partículas o específica, densidad aparente, propiedades térmicas otra propiedad física de los suelos que se considera es la temperatura, que tiene como fuente principal la irradiación solar [6].
- **Fertilidad de los suelos:** Es el suelo fértil que tiene buena cantidad de alimentos para las plantas. Estos alimentos se llaman nutrientes. Los nutrientes que las plantas necesitan en mayor cantidad para su crecimiento y fructificación son: Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio. Estos nutrientes se llaman mayores. Hay otros nutrientes que las plantas necesitan en menor cantidad, estos nutrientes se llaman menores son: Boro, Zinc, Hierro, Manganeso, Cobre, Molibdeno, Cobalto, Azufre [7].

3.5 Inventario forestal

La finalidad del inventario forestal es evaluar los recursos forestales y los recursos de árboles fuera del bosque y proporcionar nueva información cualitativa y cuantitativa sobre el estado, utilización, ordenación y tendencias de estos recursos. La evaluación cubre una extensa gama de variables biofísicas y socioeconómicas, proporcionando de esta forma una visión amplia y holística del uso del suelo [4].

- Árboles inclinados: la medición del diámetro se realiza a 1,3 m. La altura del tronco se mide donde se encuentran la base del tronco y el terreno formando un ángulo.
- Árbol caído: la medición del diámetro se realiza a 1,3 m desde el punto de transición entre el tronco y la raíz.
- Árboles con tronco irregular situados a 1,3 m: los árboles con protuberancias heridas, huecos y ramas.

A la altura del pecho, deben medirse justo por encima del punto irregular, allí donde la forma irregular no afecte al tronco.

4 Materiales y métodos

4.1 Materiales de investigación

En el estudio se empleó cartas topográficas en escala 1:50.000 (Mapa base) del Instituto Geográfico Militar e imágenes satelitales (área de estudio, cobertura de vegetación). Además, se utilizó software especializado: Excel, SAS y SPSS (Procesamiento y análisis de datos) y Arc view para el procesamiento de las imágenes satelitales.

4.2 Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en el departamento de Cochabamba, con coordenadas 17° 27' S 66 °09' Oeste, a una altitud de 2553 m.s.n.m. Se intervino en la vía Cochabamba Cliza ubicada al Sud - Este (Tarata, Arbieto y Cliza). Las comunidades intervenidas fueron, Sacha Calle, Flores Rancho, Kaluyo, Arpita; Llave Mayu, Aranjuez, Rayo Pampa, Jatán Pata, Villa Cabot. Todas las comunidades se encuentran ubicadas en el Valle Alto, pertenecientes a los municipios de Cliza y Arbieto.

4.3 Métodos y procedimientos

En lo que concierne la preparación de material para recopilar información sobre el estado del suelo y de las plantaciones de eucaliptos en las diferentes comunidades se desarrollo la siguiente metodología.

4.3.1 Inventario forestal

En las comunidades involucradas en el área de estudio se hizo el inventario de toda la vegetación existente en cada una de las comunidades del Valle Alto. La delimitación

del área para la recolección de toda la vegetación existente en la red ferroviaria, brinzal, latizal, fustal. Con la finalidad de ver el estado de las plantaciones de eucaliptos y la regeneración de las demás especies nativas presentes en cada uno de los bloques.

Se determinó el área basal (ab), dominancia y abundancia de cada uno de los individuos en base a la recolección de individuos por comunidad del valle alto.

4.3.2 Muestreo de suelo

La obtención del material para el análisis fue del suelo y subsuelo por el Método de ziz zag hasta cubrir toda la superficie de cada una de las parcelas que corresponden a $30 \times 1000 = 3$ ha.

Se elaboró de una planilla de campo para el muestreo de suelo y subsuelo para dos condiciones diferentes: suelo forestal (SF) y suelo agrícola (SA).

La profundidad del muestreo del suelo es de 0-20 cm., y la del subsuelo de 20-50 cm todo esto en base a varias calicatas

4.3.3 Análisis de las muestras en laboratorio

El análisis químico y físico de las muestras de suelo y subsuelo se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Pecuarias, Forestales y Veterinarias.

- Análisis físico: Se considerará las propiedades: color, textura, densidad aparente, porosidad y densidad real.
- Análisis químico: Se considerará lo siguiente; pH, Materia Orgánica, (MO) Nitrógeno, Fósforo, Potasio y Conductividad Eléctrica.

4.3.4 Aspectos sociales y ambientales

La consulta realizada sobre los beneficios que genera la biomasa de eucaliptos y la evaluación de la influencia de estos individuos se la realizó mediante preguntas a las 9 comunidades por medio del *Método de Encuestas Estructuradas* en los diferentes tramos con la finalidad de determinar el efecto del rodal de los eucaliptos en el aspecto social en las comunidades anteriormente mencionada.

Dentro de las preguntas estructuradas de consulta, se considero los siguientes parámetros: Extracción de madera, leña, produce materia orgánica, peligro para las viviendas, provoca erosión las raíces, no se puede aprovechar, otros.

4.3.5 Procedimiento experimental

Para conocer el efecto de las plantaciones de eucaliptos (rodal) sobre las propiedades físicas y químicas del suelo, se ha considerado dos factores las cuales son:

- Factor A: Condiciones de análisis que contempla dos niveles (Parcela agrícola y Parcela forestal)
- Factor B: Profundidades de muestreo que presenta dos niveles (0,20 m y 0,50 m)

De esta manera refleja tratamientos estructurados de factorial completo donde cada nivel de condición de análisis se combina con cada nivel de profundidad de muestreo, dando lugar a cuatro tratamientos que serán aplicado a cada una de las comunidades (Bloques), como se puede ver en la tabla 1.

Se realizaron 9 repeticiones por tratamiento haciendo un total 36 unidades de análisis muestral, todas las unidades muestrales fueron sometidos bajo un solo método de análisis en laboratorio para determinar las propiedades físico-químicas. Para el análisis social del impacto producido por el rodal de eucaliptos se utilizara una análisis no paramétrico debido a que el nivel de medición de las variables tomadas en la encuesta no cumplen como los componentes de varianza y que nuestros datos recolectados por la encuesta no asumen una distribución normal utilizadas por la estadística paramétrica.

- 20 encuestas aplicada = N° de familias /por comunidad

Tomándose en cuenta para el análisis general de la hipótesis No paramétrica en base a la Prueba de Friedman a un nivel de confianza de 0,05, basada en el promedio de rangos a la valoración numérica de una respuesta cualitativa

Tabla 1: Características de las condiciones de muestreo de suelo

Tratamientos	Características
1 A (t1)	Debajo del eucalipto (parcela forestal), profundidad 0-20 cm
1 B (t2)	Debajo del eucalipto (parcela forestal), profundidad 20-50 cm
2 A (t3)	Fuera del eucalipto (parcela agrícola), profundidad 0-20 cm
2 B (t4)	Fuera del eucalipto (parcela agrícola), profundidad 20-50 cm

4.3.6 Diseño experimental

Para este estudio se utilizo el Diseño Experimental de Bloques Completamente al Azar (BCAA), debido a que presenta: 9 comunidades con características diferentes en las características de los suelos y el otro factor de variación que es la pendiente, donde se aplicó plantaciones de eucaliptos.

El modelo estadístico es:

$$\check{Y}_{ijk} = \mu + \lambda_i + \alpha_j + \varepsilon_{ij} + \beta_k + \delta_{jk} + \varepsilon_{ik(i)}$$

Donde:

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$, bloques (comunidades) con plantaciones de eucalipto.

$j = 1$ y 2 , tipos de condición de análisis de las propiedades de los suelos / comunidad (SF y SA).

$k = 0, 20$ y 50 cm, niveles de muestreo del factor B (profundidades).

Y_{ijk} = valor y características de las propiedades de los suelos observadas en una muestra de suelo donde se aplico el k -ésimo nivel de profundidad de muestreo dentro la j -ésima condición de análisis de parcela, de la i -ésima comunidad (bloque).

μ = media general

λ_i = efecto aleatorio de la i -ésima comunidad (bloque) $\lambda_i \sim \text{NIID}(0, \sigma^2 r)$

α_j = efecto fijo del j -ésimo tipo de condición de análisis de las propiedades de los suelos (SF y SA)

ϵ_{ij} = efecto aleatorio de la interacción del entre el j -ésima comunidad y el

j -ésimo nivel de condición de análisis de las propiedades $\epsilon_{ik(i)} \sim \text{NIID}$

β_k = Efecto aleatorio del k -ésimo nivel de profundidad

δ_{jk} = Efecto fijo de la interacción j -ésimo nivel de condición de análisis y el k -ésimo nivel de profundidad de muestreo.

$\epsilon_{ik(i)}$ = Efecto aleatorio de los residuales, $\epsilon_{ik(i)} \sim \text{NIID}(0, \sigma^2 \text{error})$

Para el diseño de BCCA, para un solo modelo la encuesta (un factor “no estructurado”) utilizado para análisis social el modelo estadístico es:

$$\Pi_{ij} = \mu + \Gamma_i + \delta_j + E_{j(i)}$$

Donde:

$i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9$, bloques (comunidades) con plantaciones de eucalipto.

$j = 1, 2, \dots, 20$, familias encuestadas por la introducción de eucalipto.

Π_{ij} = probabilidad de proporción de porcentaje de familias afectadas de impacto positivo o negativo observado en la j -ésima encuesta en la i -ésima comunidad con plantaciones de eucalipto

μ = media general

Γ_i = efecto fijo de la i -ésima comunidad (bloque).

T_j = efecto fijo de la j -ésima familia encuestada

E_{ij} = efecto aleatorio de los residuales, NIID $(0, \sigma^2)$

4.3.7 Variables de respuesta

Las variables independientes y dependientes que considera esta investigación son:

- Variables independientes: rodal de eucaliptos
- Variables dependientes: valor y características de las propiedades físico-químicas de los suelos debajo y fuera del eucalipto
- Impacto social en las comunidades (positivo o negativo)

5 Resultados y discusión

Los resultados de laboratorio donde se observa el estado actual de las propiedades físico- químicas de los suelos de las 9 comunidades (Sacha Calle, Flores Rancho, Kaluyo,

Arpita, Llave Mayu, Aranjuez, Rayo Pampa, Jatán Pata, Villa Cabot) obtenidas de las parcelas agrícolas y del rodal de eucalipto podemos extraer lo siguiente:

5.1 Análisis de las propiedades químicas

Según los resultados hallados en laboratorio de los dos niveles de muestreo y a diferentes condiciones, el efecto de las plantaciones en el N_t en cada una de las comunidades según los contrastes múltiples realizados de las condiciones de suelo y subsuelo, se evidencia que el suelo forestal, presenta mayor disponibilidad de nitrógeno en el suelo (1A) en relación al suelo agrícola que presenta deficiencia en nitrógeno; en el subsuelo (1B) la disponibilidad de nitrógeno es menor en relación al suelo pero significativo al subsuelo (2B) de la parcela agrícola, tal como se observa en la gráfica 1.

De manera sintética, las parcelas de eucalipto causaron un efecto positivo en la disponibilidad de este elemento a nivel de suelo y subsuelo, en relación a la parcela agrícola que poseen valores inferiores. FAO [2] menciona que las plantaciones de eucalipto realizan una fertilización a largo plazo, se comparte esta conclusión debido que las parcelas de eucaliptos poseen una edad de 64 años, desde su introducción en el Valle Alto. De manera que el efecto del rodal de eucaliptos actúa de manera diferente desde el momento de su implantación, hasta finalizar su ciclo de desarrollo, incorporando por efecto de su biomasa (ramas y hojas) nitrógeno, lo que permite un equilibrio generando un efecto positivo en el suelo

Los valores de fósforo disponible encontrados, señalan que existen diferencias a nivel de suelo y subsuelo para cada una de las parcelas de las 9 comunidades. Los suelos agrícolas, presentan mayor disponibilidad de fósforo en el suelo y subsuelo en relación al suelo forestal, que posee valores inferiores de disponibilidad de fósforo, como se detalla en la gráfica 1. Los estudios de Leite y Ligier registran valores de P asimilable mayores, bajo plantaciones de Eucalipto que bajo praderas, este aumento del P asimilable bajo la forestación de eucalipto se debe a la existencia de ácidos orgánicos de bajo peso molecular, cuyo efecto sobre la disponibilidad del fósforo en el suelo ha sido claramente demostrado [5].

Concretamente el efecto de las plantaciones en la disponibilidad de fósforo en el suelo y subsuelo, en 7 comunidades causó un efecto negativo, registrándose valores inferiores en relación a los suelos agrícola que poseen valores superiores de P_d , una conclusión contraria a Leite y Ligier anteriormente mencionada.

En la disponibilidad de potasio en cada una de las condiciones se encontró la mayor presencia de potasio disponible en la parcela forestal en relación a la parcela agrícola que presenta valores inferiores, como se observa en la gráfica 1. La considerable disponibilidad de potasio en suelo y subsuelo de la parcela de eucaliptos, se debe a la restitución por la biomasa.

Según FAO [2] las hojas asimilan un 61,06 meK, y que es restituida por la hojarasca 20 meK del total de lo asimilado, en lo que concierne a ramas y corteza es utilizada como leña por los comunarios, por tanto la restitución es mínima. Los valores inferiores

de K_d de las parcelas agrícolas en todas las comunidades van de forma estándar, esto hace pensar que las parcelas de eucaliptos realizan una fertilización a largo plazo por la restitución que realiza y al extraer potasio de los diferentes horizontes para su desarrollo. Concretamente el efecto del rodal de eucaliptos causó un efecto positivo en la disponibilidad de potasio, a nivel de suelo y subsuelo, considerables en relación a los suelos agrícolas que poseen valores inferiores a estos.

En base a los análisis el porcentaje de materia orgánica (%MO), observamos que existe diferencia, encontrándose el mayor de porcentaje de materia orgánica en los suelos forestales en relación a los suelos agrícolas que poseen porcentajes inferiores, (ver figura 1). La presencia considerable de materia orgánica (%MO) en la parcela forestal se debe a que los rodales eucaliptos generan biomasa (hojas, ramas y corteza), caso contrario de las parcelas agrícolas, que se debe incorporar MO en capa arable para el desarrollo de algunos cultivos, lo que implica que los suelos agrícolas presenten porcentajes inferiores de MO Concretamente el rodal de eucaliptos en las 9 comunidades causó un efecto positivo a nivel de suelo y subsuelo en su contenido de materia orgánica.

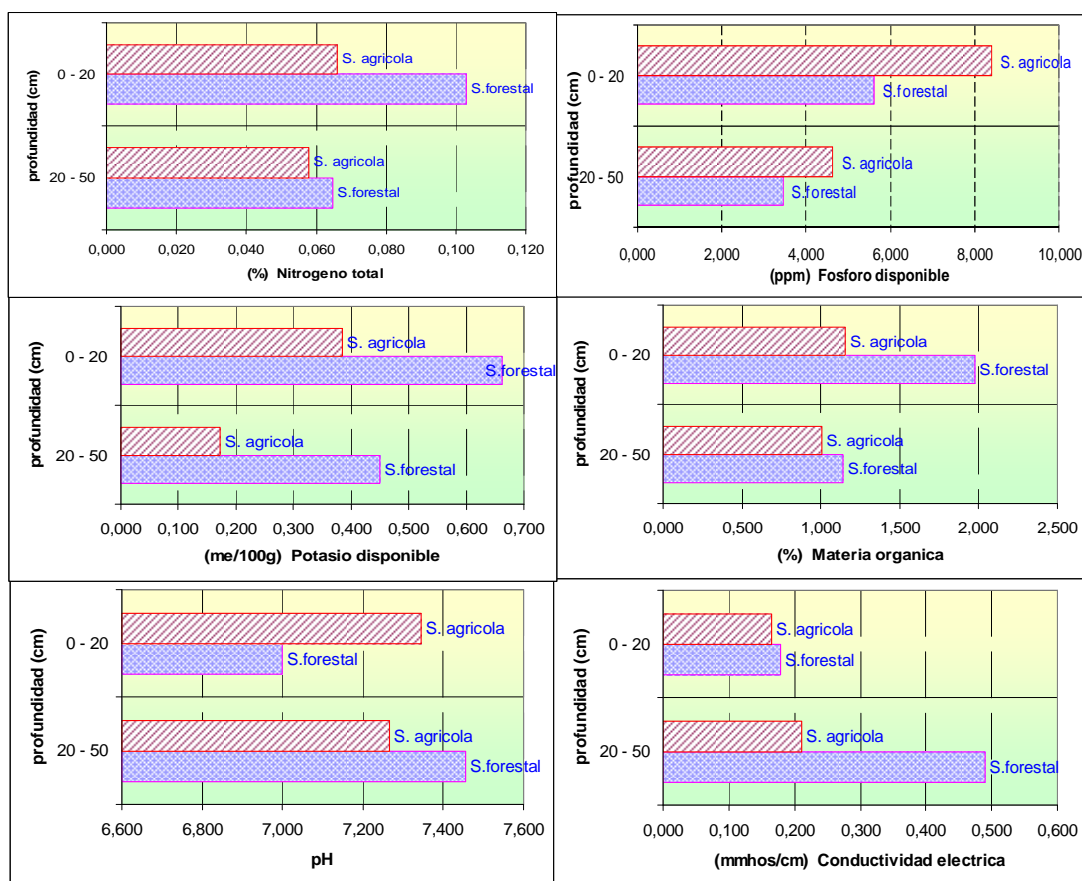


Figura 1: Propiedades químicas según sitio y profundidad

El pH de las 9 comunidades señala que existen diferencias mínimas a cada nivel de profundidad y parcela. Según los valores de pH; la condición "1A" es evaluada como neutro; la condición "1B" es considerado medianamente básico; en las condiciones "2A y 2B" consideradas como neutro. Concretamente el rodal de eucaliptos causo un efecto negativo, encontrándose los valores mas bajos de pH a nivel de suelo (1A), que tienden a ser suelos ligeramente ácidos, en relación a los suelos agrícolas que son neutros y en el subsuelo (1B) el pH es medianamente básico, no se evidencia una modificación significativa. Al evaluar la conductividad eléctrica con la escala para determinar la clase de salinidad, las sales presentes por efecto de los eucaliptos, en las condiciones 1A, 1B, 2A y 2B están en la clase de suelos "no salinos" de efectos despreciables de salinidad en todas las parcelas forestales y agrícolas presentes en las comunidades de Valle Alto. Sin embargo la mayor salinidad esta en el subsuelo de las parcelas forestales en relación al suelo que no es salino, y considerable en comparación con los dos horizontes de las parcelas agrícolas.

Específicamente la conductividad eléctrica de todas las comunidades de Valle alto, está influenciada por la presencia de los eucaliptos por su capacidad de captar el recurso agua y no esta determinada por la práctica agrícola realizada por los comunarios. De esta manera, las parcelas forestales, cuyos rodales completaron todo su ciclo de desarrollo, tienen una tendencia a ser suelos ligeramente salinos, lo cual genera un efecto negativo por la concentración de sales.

5.2 Análisis físico

En los resultados encontrados señalan que existen diferencias mínimas en los valores de la densidad aparente a cada nivel de profundidad y parcela en cada uno de los bloques. Según los valores de la densidad aparente; la condición "1A" (0-20cm parcela forestal) de 1,38 g/cm³ de densidad aparente es la única que varia con respecto a las demás condiciones (1B, 2A y 2B) (ver figura 2). De manera que la densidad aparente es mucho mas bajo en las parcelas forestales a nivel de suelo y subsuelo, contrariamente el comportamiento de la densidad aparente, es mucho más en la capa arable (0-20cm profundidad) de la parcela agrícola, como se observa en la figura 2. La densidad aparente generalmente aumenta a mayor profundidad, esto se debe a que bajos niveles de materia orgánica, conlleva al aumento de la compactación. En resumen, el efecto de las plantaciones de los *Eucalyptus*, puede clasificarse como positivo en 6 comunidades a nivel de suelo y subsuelo donde las densidades (D_a) son menores en la capa arable de cada una de las parcelas forestales, en relación a las parcelas agrícolas, que posee densidades mayores.

Al igual que la densidad aparente, la densidad real permite determinar la densidad de partículas y específicamente los espacios porosos del suelo. Observando la figura 2 la densidad real de ambos casos (agrícola y forestal), las diferencias de la D_r , entre el SF¹ en relación al SA² el rodal de eucaliptos causo modificación en la D_r con mínimas

¹ Suelo forestal

² Suelo agrícola

variaciones. Sin embargo, existen diferencias dentro de cada una de las comunidades, tanto en la parcela forestal, como en la parcela agrícola, en los dos horizontes, encontrándose la mayor densidad real en la parcela forestal en ambas condiciones, pese a ello, el resultado es menor a la clasificación de suelos ideales de $2,65\text{g}/\text{cm}^3$ de D_r (ver figura 2), concretamente el rodal no causo ningún efecto considerable en la D_r en los dos horizontes. De manera que la mayor presencia de porosidad se encuentra a nivel de suelo y subsuelo de la parcela forestal, en relación a la parcela agrícola, como se observa en la figura 2.

Esto se debe a que en los suelos forestales no existe ninguna presión o factores que influyen sobre la capa superficial, contrariamente en el suelo agrícola, por la intensidad de la labranza en las parcelas agrícolas entre los cuales su valor puede variar lo que conlleva a que sean suelos menos porosos. Según el cuadro de evaluación de la porosidad total del Laboratorio de Suelos y Aguas “FCAPV y F”, se puede concluir que el promedio del % de P_t (porosidad total), de todas las condiciones en la capa arable, presenta una porosidad no satisfactoria (40-50%). De manera que la amplitud del porcentaje de porosidad total en la capa arable, esta determinada por la presencia de los eucaliptos en la capa arable.

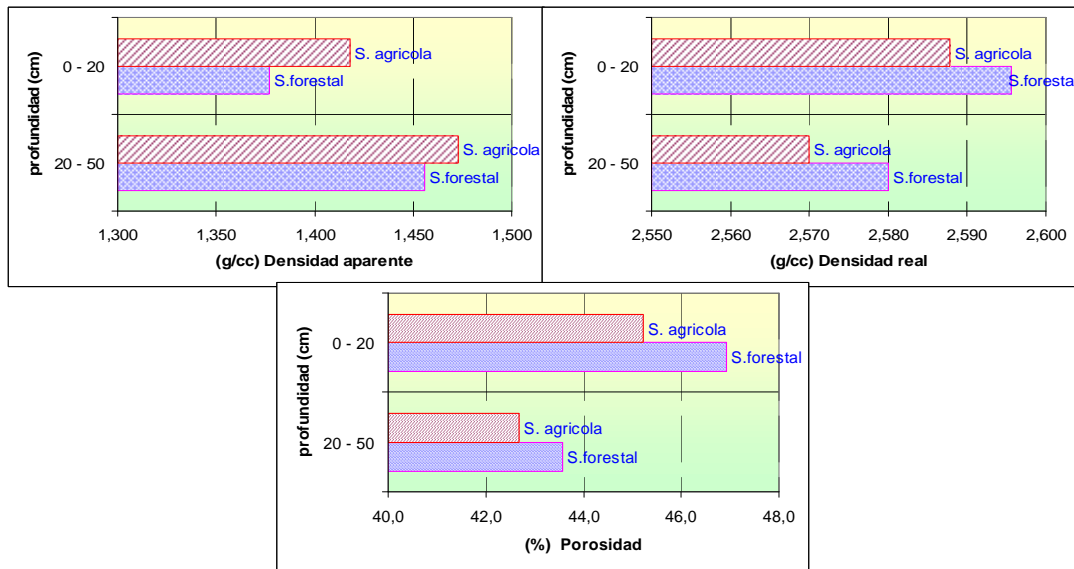


Figura 2: Propiedades físicas según sitio y profundidad de cada uno de los bloques

En base a los análisis la textura según los porcentajes de arena, limo, arcilla y arena, el efecto del rodal de eucaliptos causo un efecto positivo debido que es estos suelos poseen un equilibrio hidroaéreo característica de los suelos limosos y lo que concierne macroporos y microporos. El color de las diferentes parcelas no presenta

grandes diferencias, como sabemos los suelos en general tienen color oscuro y el color se aclara a medida que se profundiza. De manera general en el rodal de eucaliptos a nivel del suelo, los colores son más claros cuando comparados con la parcela agrícola. En el subsuelo, en ambas parcelas, los colores son más oscuros.

5.3 Aspectos sociales y ambientales

En base a las encuestas realizadas en las diferentes comunidades por la introducción de estos individuos, en la consulta a 20 familias, que se ubican en el perímetro y dentro de la misma plantación de los eucaliptos. En todas las comunidades la extracción de material seco como leña es aprovechada (ver figura 3), identificándose a la comunidad de Arpita con mayor uso de este recurso y la comunidad Aranjuez. Estas comunidades citadas son las más alejadas de su municipio, caso contrario ocurre en la comunidad de Sacha Calle, donde un 60% de la población no extrae leña de estos rodales. Esta comunidad presenta mayor población, de viviendas considerables y no existe la necesidad de extraer leña de estos rodales presentes concurriendo directamente a distribuidoras de gas. Se rescató también que estas comunidades extraen otros derivados, como aceites y utilizados como medicinales no significativos, concretamente la comunidad de Llave Mayu. De manera que el efecto del rodal de eucaliptos causó un efecto positivo en las familias en 8 comunidades que son beneficiadas con este combustible generada por la biomasa (hojas y ramas).

La presencia de materia orgánica en las diferentes comunidades es considerada relativamente bajo, tal como se observa en la figura 3, caso contrario a la opinión rescatada de la comunidad de Arpita un 10% menciona que existe la presencia de materia orgánica pero un 90 % opina lo contrario, de manera que las comunidades consideran como un efecto negativo.

En estas comunidades no existe considerable presencia de sotobosque y sus suelos están en algunos casos erosionados (ver figura 3), pero puede demostrarse que alrededor de 70 % de los nutrientes extraídos por los árboles se acumula en las hojas, ramas y corteza, el 30 % acumulado en la tronca la cual es una fertilización a largo plazo de los rodales de eucaliptos. De manera más concreta, con lo anteriormente mencionado el rodal causó un efecto negativo para las comunidades por las propiedades químicas del eucalipto que impiden el desarrollo de ciertos individuos, como la práctica agrícola realizada por los comunarios.

Se rescató también que la mayoría de las comunidades no extrae madera de los rodales observada en la figura 3 y un porcentaje bajo aprovecha este recurso. Las familias en las diferentes comunidades tienen conocimiento de que es prohibido por la Empresa Nacional de Ferrocarriles (ENFE) la extracción de troncas de las plantaciones por ser de propiedad del Estado, siendo esto un efecto negativo para las comunidades que no pueden utilizar este recurso, tal caso las comunidades Flores Rancho, Jatán Pata y Arpita un 20 % extrae madera siendo conocedores de su restricción, considerándose también un efecto negativo para ENFE.

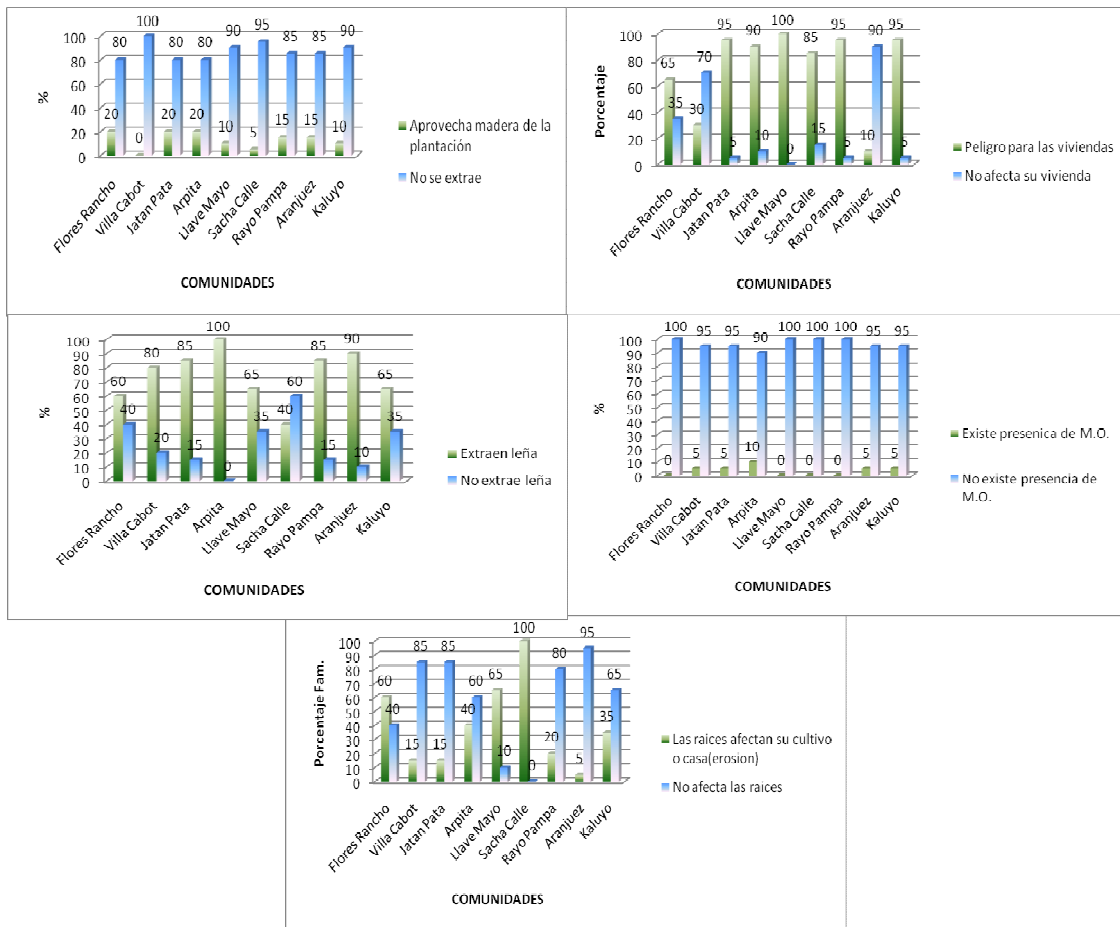


Figura 3: Influencia y beneficios de la biomasa generada por el eucalipto

En la mayoría de las comunidades el rodal de eucaliptos es considerado un peligro para las viviendas (ver figura 3), esto a causa del viento que hace que estos rodales sean inestables a estas corrientes lo que lo hace peligroso por su considerable tamaño, diámetro y los años que poseen estos eucaliptos siendo un efecto negativo para estas comunidades. Se rescató también en 3 comunidades (Kaluyo, Sacha Calle y Flores Rancho) que el rodal afecta el cable de luz de sus viviendas, concluyéndose de esta manera que el rodal de eucaliptos en las vivienda causa un efecto negativo debido a que son rodales de 64 años. Desde su introducción, los rodales ahora poseen considerables diámetros y alturas, que han cumplido su actividad fisiológica tornándose peligrosos estos individuos (eucalipto).

El efecto de las raíces (ver figura 3) tiene un efecto negativo en las comunidades de Flores Rancho, Llave Mayu de un 60 %, un porcentaje considerable es afectada por las raíces del eucalipto en sus parcelas agrícolas. La capacidad de absorción de agua que posee las raíces del eucalipto que impide el desarrollo de los cultivos a nivel radicular y la

extracción de los nutrientes de los suelos anteriormente mencionados en los elementos NPK y MO. De manera concreta en tres comunidades provoco la erosión de los suelos por efecto de las raíces del rodal de eucaliptos en cultivos y en algunos casos en sus viviendas siendo un efecto negativo para las comunidades que poseen estos rodales. Se rescato en los comentarios que la humedad del rodal de eucaliptos es relativamente baja, que se extiende a las parcelas agrícolas. En casos como comunidades mas pobladas la comunidad Sacha calle y la comunidad de Kaluyo mencionan que afecta el camino, específicamente en esta comunidades el rodal esta en el perímetro de la vía interprovincial donde las raíces erosionan la vía lo cual es un efecto negativo para esta comunidad.

6 Conclusiones

La evaluación del efecto de las plantaciones de eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) en las propiedades físico-químicas de los suelos, en los aspectos sociales y ambientales, presenta diferencias, en las 9 comunidades consideradas en el estudio, bajo las distintas condiciones de análisis. Asimismo esta diferencia abarca las diversas actividades cotidianas de los habitantes de la región (actividad agropecuaria, vivienda, generación de energía, etc.), producto del cambio de cobertura vegetal.

El efecto del rodal de eucaliptos en la fertilidad de los suelos, enfocada en el contenido de NPK, mostró variación significativa en los varios compuestos:

- En el porcentaje de nitrógeno total. En el SF a nivel de suelo se encontró 0,10 % N_t, en el subsuelo 0,06 % N_t; en el SA a nivel de suelo 0,07 % N_t, en el subsuelo 0,06 % N_t, el menor valor porcentual se encontró en el SA, por lo que se puede afirmar que el rodal de eucaliptos causo un efecto positivo en el % N_t en el suelo.
- La presencia de fósforo disponible mostró en los SF 3,5 ppm a nivel del subsuelo y 5,6 ppm a nivel del suelo, en el SA los valores encontrados fueron de 4,7 ppm a nivel del subsuelo y 8,4 ppm a nivel del suelo, En ambas parcelas se observa entonces una deficiencia de este compuesto. El menor valor porcentual se encontró en el SF, por lo que podemos señalar que los eucaliptos influyen negativamente en la disponibilidad de fósforo.
- La presencia de potasio disponible en el SF, se encontró a nivel de suelo 0,66 me/100g y 0,45 me/100g en el subsuelo. En el SA, se encontró a nivel de suelo 0,38 me/100g y 0,17 me/100g, el resultado más bajo observado es en el SA, de manera que el rodal de eucalipto generó un efecto positivo a nivel de suelo. Específicamente el rodal de eucaliptos extrae mayor cantidad de potasio del subsuelo en su elongación meristemática, lo cual es positivo debido al aporte de las ramas y hojarascas que realiza al suelo durante su caída, lo contrario ocurre en el subsuelo, donde hay un descenso de la disponibilidad de K, las raíces de eucaliptos en el crecimiento producen una

rápida disminución de la concentración de potasio de la solución del suelo cercana a ellas en mayores profundidades.

El efecto del rodal de eucaliptos en otros factores relacionados al suelo, mostró variación significativa en los siguientes aspectos:

- Se encontró en el SF, a nivel suelo 1,98 % MO, en el subsuelo 1,14 % MO. En el SA a nivel de suelo 1,15 % MO, y 1 % MO en el subsuelo, encontrándose el porcentaje más alto en SF, de manera que el rodal de eucaliptos produjo un efecto positivo.
- El pH del SF, mostró en el suelo 7,0 de pH, y 7,5 pH en el subsuelo. En el SA se determinó a nivel de suelo y subsuelo un pH de 7,3 (neutros), se observa que los valores de pH más altos están en el SF, de manera que los eucaliptos generan un impacto negativo a nivel de subsuelo que son medianamente básicos, el eucalipto penetra con sus raíces varias capas del suelo y extrae calcio, este elemento, es entonces reemplazado por elementos que forman ácidos, entonces el eucalipto tiene la tendencia a acidificar los suelos.
- En la conductividad eléctrica directamente relacionada al comportamiento del pH y las posteriores comparaciones de salinidad realizadas con valores referenciales, no se encontró variación significativa, categorizándose como no salinos en ambos sistemas.

En relación a las propiedades físicas del suelo:

- La densidad aparente y la densidad real presentan variaciones significativas en los SF en relación a las parcelas agrícolas, de manera que los valores de la porosidad en el SF de 46,9% a nivel de suelo y 43,6% en el subsuelo, son más altos en relación a la parcela agrícola que presenta una mayor compactación, con espacios porosos menores (porosidad a nivel del suelo igual a 45,2% y 42,7% en el subsuelo), sin embargo, en ambos sistemas la porosidad es no satisfactoria. Pese a ello, el SF generó un efecto positivo, por haber minimizado la compactación.
- La textura del SF es franco limosa lo que implica nutrimentos moderados en relación al SA que posee textura franco arcillo limoso, y el color del suelo cambia de café amarillento oscuro a café amarillento claro, no ocurre lo mismo en el subsuelo que mantiene el mismo color de café amarillento oscuro.

El efecto por el cambio de uso de suelo por las plantaciones de eucaliptos causó un efecto negativo en las comunidades:

- La mayoría de las familias son afectas por la influencia de estos individuos en sus parcelas agrícolas por efecto de las raíz de los rodales. El peligro para sus viviendas por la edad de los rodales, en algunos casos afectando directamente la raíz a las viviendas, la existencia de materia orgánica anteriormente citada,

que difícilmente puede ser utilizado por los comunarios para sus cultivos como abono orgánico, por el efecto alelopático (componentes químicos) que presenta sobre el sotobosque.

- El beneficio único de las familias es la extracción de leña de los rodales que se encuentran en los predios el uso de este recurso en cada una de las comunidades y algunas aldeañas a estas. Actualmente uno de los factores que causa conflicto en las comunidades y la empresa (ENFE) es la de no poder aprovechar la madera debido a la restricción que existe para estos rodales, que impiden a las comunidades extraerla.

7 Recomendaciones

Se deben realizar estudios sobre las reacciones de los componentes químicos del eucalipto (*Eucalyptus globulus* L.) por que en el suelo las hojarascas y ramas pueden interactuar positiva o negativamente con los elementos esenciales (macro y micro elementos).

Los rodales deben ser aprovechados por las diferentes comunidades, un 64,95 % del rodal requieren ser extraídos de las comunidades del Valle Alto, y proceder a la posterior reposición por otras especies (molle -*Schinus molle*- y algarrobo -*Prosopis sp.*- que puedan recuperar la fertilidad de los diferentes sitios. Estas especies son recomendadas en base al inventario realizado. Además, se observó que poseen la capacidad de adaptarse y regenerarse en estos lugares, deberá considerarse a estas especies como potenciales recuperadoras de suelos, tienen un alto potencial en la producción de materia orgánica y permiten la existencia de estratos inferiores como los observados en la comunidad de Mamanaca

Generar no solo una política de reforestación con fines paisajísticos en forma conjunta con las comunidades con un enfoque turístico, sino también, debe implementarse políticas de manejo forestal sostenible del rodal entre la empresa de ferrocarriles y las comunidades, para que ambos actores sean beneficiados. Si se desea una reforestación comercial, debería pensarse en las plantaciones con tara (*Caesalpinia spinosa*), por ofertar productos de alta demanda (gomas, taninos y forrajes). Además son propios de estas zonas del valle alto.

Referencias

- [1] CIM. 2007. Principales indicadores de Cochabamba 2006. Federación de entidades empresariales privadas de Cochabamba. Centro de investigación multidisciplinario Cochabamba.
- [2] FAO. 1987. Efectos ecológicos de los eucaliptos. M.E.D. Poore, C. fries.
- [3] FAO. 2003. Informe de país Bolivia. Centro de Investigaciones y de Servicios en Teledetección, CISTEL. Universidad Mayor de San Simón de Cochabamba. Unidad de Ordenamiento Territorial. Viceministerio de Planificación y

- Ordenamiento Territorial. Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación. Bolivia. En: <http://www.fao.org/montes/fon/fonp/cfu/topics/es/learn-s.stm> (Acceso 10.07.2008)
- [4] FAO. 2004. Inventario forestal nacional - manual de campo modelo. Departamento de Montes, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Guatemala.
- [5] Fox, R. 1995. The influence of low-molecular-weight organic acids on properties and processes in forest soils. En: McFee, W. W. y M. Kelly. 1995. Carbon forms and functions in Forest Soils. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin. USA.
- [6] Fuentes, J. 2005. El suelo: un sistema vivo. Guía de apoyo n° 2, para profesores: propiedades generales de los suelos. Proyecto explora – CONICYT de divulgación y valoración de la ciencia y tecnología. Departamento de Silvicultura Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Chile. Santiago.
- [7] FUNACH-ASODERNA. 2002. El suelo. Propiedades físicas-químicas, conservación. Ministerio de agricultura y desarrollo rural programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria PRONATTA. Proyecto de desarrollo tecnológico: capacitación en aprovechamiento y manejo del recurso bosque, sistemas silvopastoriles – agroforestales a los aserradores de la serranía del Churumbelo. Municipio de Mocoa, departamento del Putumayo. Colombia.