

Volumen 1 - 2010

CEDAMAZ

Número
01



REVISTA DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y DESARROLLO DE LA AMAZONÍA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ECUADOR

Revista
CEDAMAZ

Universidad Nacional de Loja
Centro de Estudios y Desarrollo de la Amazonia (CEDAMAZ)

Revista CEDAMAZ
Volumen 1, No. 1
2010

Comité editorial

Dr. Max González Merizalde, Mg. Sc.
Coordinador del CEDAMAZ
Nikolay Aguirre Mendoza, Ph.D.
Profesor de la Universidad Nacional de Loja.

Comité de revisión

Nikolay Aguirre Mendoza, Ph.D.
Zhofre Aguirre Mendoza, Mg.Sc.
Walter Apolo Berru, Mg.Sc.

Editor responsable

Nikolay Aguirre Mendoza, Ph.D.
Dirección: Ciudad Universitaria "Guillermo Falconi Espinoza",
La Argelia, Loja –Ecuador

Portada

Diseño: David Neira y Tatiana Ojeda
Sobralia rosea
Foto: Max González

Loja, Ecuador

CONTENIDO

EDITORIAL	3
ARTICULOS DE REVISION	
Información general	
El CEDAMAZ en el Desarrollo de la Región Amazónica ecuatoriana. Max González Merizalde.....	4
Seguridad Alimentaria	
Uso y manejo de la biodiversidad alimentaria en el sur oriente del Ecuador y perspectivas para investigación y conservación. Nivia Luzuriaga y Walter Apolo	11
Servicios Ecosistémicos	
El cambio climático y la conservación de la biodiversidad en el Ecuador. Nikolay Aguirre, Tatiana Ojeda y Paul Eguiguren	16
Investigación para proveer servicios ecosistémicos a la población de Zamora Chinchipe, Ecuador. Walter Apolo B.....	25
Uso de la Biodiversidad	
Plantas medicinales, situación actual y perspectivas de desarrollo. Claudia Cruz Erazo, Max González Merizalde y Luis Morocho Yaguana.....	34
Minería	
Recursos minerales no renovables en la Amazonia ecuatoriana. Carlomagno Chamba T	40
ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN	
Acuicultura	
Estado actual de moluscos y crustáceos dulceacuícolas en el corredor fluvial Zamora, Nangaritza y Palanda Mayo. Fidel Darío Maldonado González y Max Arturo Bravo Cumbicus	45
Manejo de recursos	
Adaptación de especies nativas maderables y no maderables con potencial de aprovechamiento múltiple en el sur de la Amazonia ecuatoriana. Zhofre Aguirre Mendoza y Néstor León Abad	51
Herpetofauna de un bosque húmedo tropical en la Estación El Padmi, de la Universidad Nacional de Loja. Diego Armijos Ojeda y Andrea Patiño Loján.....	57
Criterios en la instalación de los experimentos y caracterización de los sitios del proyecto “Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la Amazonia ecuatoriana”. Carlos Valarezo Manosalvas, Héctor Maza, Carlomagno Chamba, Luís Valarezo, Bolívar Merino, Miguel Villamagua, Marconi Mora y Ricardo González	65
INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES PARA LA PRESENTACIÓN DE MANUSCRITOS PARA LA REVISTA CEDAMAZ	81

EDITORIAL

La Amazonia Ecuatoriana abarca el 48 % del territorio nacional y el 90 % del trópico húmedo ecuatoriano; además constituye la región con la mayor cobertura boscosa y alta biodiversidad, donde viven alrededor de 0,5 millones de personas, de las cuales el 30% corresponden a comunidades nativas.

Su población se caracteriza por la presencia de estructuras culturales bien definidas, por un lado existen al menos 10 grupos étnicos presentes en la zona desde antes de la época colonial (aproximadamente 10 mil años A.C.), y por otro, la población mestiza que ha ingresado a la Amazonia, en busca de mejorar sus condiciones de vida, como consecuencia de la presión demográfica y la explotación del petróleo. Ambos grupos humanos, con diferentes culturas, actividades económicas, organización y cosmovisiones, han entrado en contacto produciéndose un choque cultural con ventajas y desventajas para las dos partes.

Con la finalidad de desarrollar proyectos de investigación y desarrollo, la Universidad Nacional de Loja, crea a partir del 11 de abril del 2006, El Centro de Estudios y Desarrollo de la Amazonia (CEDAMAZ). Este centro coordina el accionar de las diferentes unidades académicas de la UNL e interactúa con organizaciones e instituciones que desarrollan su actividad en la región. Si bien es cierto, su espacio de trabajo se ubica en la parte Sur de la Amazonia ecuatoriana, el ámbito de sus concepciones, análisis, propuestas y actividades es un complejo integrador a nivel amazónico nacional y continental.

El CEDAMAZ, con la finalidad de difundir y dar a conocer los principales resultados y logros obtenidos en el marco de sus líneas, programas y proyectos de investigación y desarrollo, ha considerado pertinente la publicación anual de la Revista CEDAMAZ; además para cumplir con una parte sustancial de la misión de la universidad ecuatoriana, como es la de rendir cuentas a la sociedad, a través de la socialización del conocimiento generado.

La revista CEDAMAZ, constituye un instrumento para comunicar a la comunidad universitaria y a la sociedad interesada en la región amazónica ecuatoriana y latinoamericana información, que aporte al conocimiento y mejoramiento de los sistemas de uso y manejo de los recursos de una de las regiones de mayor importancia para el país. Por su naturaleza y articulación con el Centro de Estudios y Desarrollo de la Amazonia, la revista mencionada abarca una amplia gama de temáticas, las mismas que están relacionadas a las líneas de investigación. Además considera diferentes tipos de publicaciones que van desde artículos de revisión, hasta publicaciones provenientes de estudios experimentales.

Esta revista, es su primer número, presenta artículos de revisión en temas de actualidad y de importancia para el desarrollo de la región amazónica ecuatoriana, entre ellos se destacan: el cambio climático y su incidencia en la biodiversidad, la minería y sus impactos en la región, los servicios ecosistémicos y sus potencialidades de uso, etc. También presenta artículos con resultados preliminares de estudios y trabajos realizadas por investigadores de la UNL que aportan al manejo de los recursos naturales de la Amazonia.

Dr. Max González Merizalde

Criterios en la instalación de los experimentos y caracterización de los sitios del proyecto “Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la Amazonia ecuatoriana”

Carlos Valarezo-Manosalvas^{1*}, Héctor Maza¹, Carlomagno Chamba², Luis Valarezo¹, Bolívar Merino³, Miguel Villamagua¹, Marconi Mora⁴, Ricardo González⁵

¹Docentes-Investigadores del Centro de Estudios y Desarrollo de la Amazonia (CEDAMAZ).

²Docente del Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables (AEIRNNR)

³Técnico del Herbario Reinaldo Espinosa

⁴Técnico del Laboratorio de Suelos

⁵Responsable de la Estación Experimental El Padmi

*Autor para correspondencia: cvalarezo@softhome.net

Resumen

El proyecto se orienta a generar alternativas para la gestión sostenida de la fertilidad de los suelos de las laderas degradadas por efecto de la ganadería, en el rango de altitud de 800 a 1 100 m s.n.m, en la zona sur de la Amazonia Ecuatoriana, mediante la aplicación de carbón vegetal, cal y nutrientes, y utilizando pachaco *Schizolobium parahybum* y melina *Gmelina arborea* como especies maderables indicadoras de rápido crecimiento. Los criterios aplicados tanto en la selección de los dos sitios experimentales como en la instalación de los ensayos, guardan correspondencia con las hipótesis, el tiempo para disponer de los resultados, la pendiente del terreno y la distribución del sistema de raíces de los árboles en las laderas de la zona. En el sitio la Victoria (15 % de pendiente promedio) del cantón Zamora, los suelos (Typic Kandihumults) se han formado de granodiorita. En el sitio Los Zapotes (60 % de pendiente promedio) del cantón Centinela del Cóndor, los suelos (Rhodic Kandihudlts) provienen de andesita y brechas tobáceas. En ambos sitios, los suelos son muy profundos, muy fuertemente ácidos, con carga negativa neta y presencia de Al³⁺. Antes de la instalación de los experimentos en los pastizales degradados se identificaron 26 especies en La Victoria (4 herbáceas, 18 arbustivas y 4 arbóreas), y 33 especies en Los Zapotes (18 herbáceas, 10 arbustivas y 5 arbóreas). La variación espacial de la velocidad de infiltración (1,7 a 6,9 cm/h en La Victoria y 0,003 a 1,10 cm/h en Los Zapotes) se atribuye al tipo de cobertura inicial del terreno y a la historia de compactación por la ganadería.

Palabras clave: suelos ácidos del trópico húmedo, suelos de granodiorita, suelos de andesita, Terra Preta, infiltración

Abstract

The project aims to generate alternatives for sustainable management of soil fertility on livestock degraded slopping areas in the altitude range from 800 to 1,100 m a.s.l in the south of the Ecuadorian Amazon through the application of charcoal, lime and nutrients, using rapid growing timber species pachaco *Schizolobium parahybum* and melina *Gmelina arborea* as indicators. The criteria considered in both, the selection of two pilot sites and the installation of the experiments are related to the hypothesis, the time to have the results, the slope of the terrain and the distribution of the root system of trees growing on the slopes in the area. At the site La Victoria (15% average slope) of Zamora Canton, soils (Typic Kandihumults) have been formed in granodiorite. At the site Los Zapotes (60 % average slope) of the Centinela del Cóndor Canton, soils (Rhodic Kandihudlts) have formed from andesite and tuffaceous breccias. At both sites, soils are very deep, very strongly acidic, with net negative charge and the presence of Al³⁺. Before installation of the experiments in the degraded pastures 26 species were identified in La Victoria (4 grasses, 18 shrubs and 4 trees), and 33 species in Los Zapotes (18 grasses, 10 shrubs and 5 trees). The spatial variation of the infiltration rate (1.7 to 6.9 cm/h in La Victoria and 0.003 to 1.10 cm/h in Los Zapotes) is attributed to the type of initial coverage of the terrain and the history of compaction by livestock.

Introducción

En el corredor de la red fluvial Zamora-Nangaritzza, en la Zona Sur de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), los suelos de las ondulaciones, el piedemonte, las colinas y montañas bajas, en el rango de altitud de 800 a 1 100 msnm en condiciones

naturales soportan un frondoso bosque tropical biodiverso y multi-estrato, constituido por un conjunto de especies en equilibrio y armonía, cuya reserva de nutrientes se concentra en la biomasa y en la capa orgánica superior. Entre la vegetación y el horizonte superficial se produce el continuo y permanente reciclaje de los nutrientes, bajo el denominado "ciclo orgánico", constituyéndose en un ecosistema cerrado, en el cual el bosque se alimenta de sí mismo (Valarezo 2004).

La intervención humana sobre este bosque natural, al igual que en el resto de la RAE, ha consistido en la extracción selectiva de las especies arbóreas de valor comercial, luego la tumba, roza y quema del bosque remanente, seguida en general de un cultivo de naranjilla, para finalmente establecer pastizales. Así, la conversión del bosque natural a pastizal, interrumpe abruptamente el reciclaje natural de los elementos nutritivos, los cuales se lixivian por efecto de la abundante lluvia, se acelera la mineralización de la reserva de materia orgánica, y se instala un proceso de erosión hídrica, por lo que en un tiempo relativamente corto se degrada la fertilidad del suelo y las tierras se convierten en marginales, constituyéndose en "desiertos de fertilidad", que se caracterizan por una fuerte acidez, presencia de aluminio tóxico y, la baja disponibilidad de macro y micronutrientes, principalmente nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, zinc, entre otros. Se estima que actualmente la afectación alcanza alrededor del 50 % de las áreas del pie de monte y las colinas y montañas bajas (aproximadamente 50 000 ha), la misma que lamentablemente sigue creciendo a expensas de la destrucción del bosque primario (Valarezo et al. 1998).

Si bien, desde la perspectiva de la utilización productiva y de recuperación de las áreas degradadas, estas tierras (de pendiente entre 12 a 60 %) tienen vocación para la repoblación forestal con especies de valor comercial, aprovechando las condiciones de elevada temperatura y humedad de la zona, que la convierten en un invernadero natural, con gran potencialidad de producción de biomasa, único en el mundo por la posición del país en el centro del planeta; en cambio, la baja fertilidad general de los suelos, la intensa lixiviación de los nutrientes y la fuerte acidez, se constituyen en sus principales limitaciones.

Ante el problema expuesto, a menos que los productores cuenten con conocimientos adecuados y opciones ventajosas para la gestión sostenida

de la fertilidad de los suelos, la degradación de las tierras de las laderas y la destrucción de sus bosques, principalmente por la ganadería, continuará, porque su supervivencia, en términos de ingresos económicos, depende de esta actividad.

Varios estudios señalan que las aplicaciones de carbón vegetal pueden mejorar y mantener las condiciones físicas, químicas y de fertilidad de los suelos del trópico húmedo. Así, Lotter (2002) reporta que en la profundidad de la Amazonia Brasileira, en Oxisoles de baja fertilidad, donde el bosque natural ha sido reemplazado con cultivos y pastizales, se encuentran algunas pequeñas áreas dispersas cuyos suelos no presentan el color rojo típico de los Oxisoles, sino que son de color oscuro o negro. Estos suelos se conocen con el nombre de Terra Preta do Indio (Tierra Negra de Indio) y son característicos de los asentamientos pre-Colombinos de los nativos.

Por algún tiempo se ha conocido que los suelos de Terra Preta son mucho más fértiles que aquellos de sus alrededores; sin embargo, es recientemente que los científicos han empezado a estudiarlos seriamente para determinar el origen de su mayor fertilidad, habiendo encontrado que sus características no se deben a procesos biológicos ni pedogenéticos, sino que son el producto de la acción humana (suelos antropogénicos). Se ha descubierto que el carbón vegetal es el componente misterioso de los suelos de Terra Preta. Aparentemente, los nativos pre-Colombinos, tumbaron el bosque y en lugar de quemarlo sobre la superficie del terreno, como se acostumbra en el sistema de tumba y quema que deja cenizas y muy poco carbón, enterraron la biomasa y la quemaron, la combustión incompleta de la biomasa debido a la falta de oxígeno produce carbón vegetal. La situación sorprendente es que después de 1 500 años, estos suelos todavía son fértiles, por lo que son preferidos por los agricultores locales.

Investigaciones relativamente recientes (Glasser et al. 2002a y Glaser et al. 2002b), han demostrado que en los suelos antropogénicos (Terra Preta) el carbón vegetal puede mantener altos niveles de materia orgánica y de nutrientes aprovechables para las plantas. En los suelos ácidos, la aplicación de carbón vegetal incrementa el pH y disminuye la saturación de Al, factores que a menudo constituyen las principales limitaciones de la productividad de los cultivos en los suelos altamente meteorizados de los trópicos húmedos (Cochrane y Sánchez 1980,

Mgagwu y Piccolo 1997); pero, no solamente incrementa el contenido de nutrientes, sino también la retención de éstos, lo cual es especialmente importante en los suelos mencionados, que tienen baja capacidad de retención iónica (Glaser et al. 2002a).

Se reporta, así mismo, que el rendimiento de los cultivos se puede incrementar aún más, cuando la aplicación de enmiendas de carbón van acompañadas de fertilizantes y abonos orgánicos (Glaser et al. 2002, Lehmann et al. 2002).

En los suelos Terra Preta, la lixiviación y la cristalización de los nutrientes es retardada por la fuerte formación de quelatos, que son complejos de ácidos húmicos con iones metálicos (Bechtold 2002), lo cual se ha observado también en los suelos que se ha aplicado carbón vegetal (Glaser et al. 2002a). Se asume que la lenta oxidación (biótica y/o abiótica) en los bordes de la cadena aromática del carbón vegetal, que contiene grupos carboxílicos, es la responsable tanto de la posible formación de complejos órgano-minerales, como del incremento sustancial de la capacidad de intercambio catiónico (Glaser et al. 2002b).

Adicionalmente, el C pirogénico (carbón vegetal) es muy resistente a la degradación microbiana, persistiendo en el medio ambiente a través de siglos, debido a la estabilidad química proveniente de la estructura aromática (Goldber 1985, Schmidt et al. 1999, Seiler y Crutzen 1989). Consecuentemente, el aporte de carbón vegetal para mejorar la fertilidad, podría conducir a un mayor secuestro de C y constituirse en un sumidero de CO₂ de largo plazo

(Glaser et al. 2002b) en la perspectiva de disminuir la carga de este gas en la atmósfera principal causante del aumento de la temperatura mundial promedio o calentamiento global, denominado Cambio Climático Antropogénico.

Es en este marco que a través del presente proyecto se plantea generar alternativas para la gestión sostenida de la fertilidad de los suelos ácidos y pobres en las laderas de la zona sur de la Región Amazónica Ecuatoriana, mediante enmiendas de carbón vegetal, cal y nutrientes, como estrategia para la producción de árboles de especies maderables de valor comercial, que permita dinamizar la economía, recuperar las áreas degradadas, elevar la captura de CO₂ y atenuar la degradación del bosque primario.

Consecuentemente, los objetivos específicos del proyecto son:

- Determinar el efecto de las enmiendas de carbón vegetal, cal y nutrientes minerales, sobre el crecimiento y el rendimiento económico de las especies arbóreas maderables indicadoras, pachaco *Schizolobium parahybum* y melina *Gmelina arborea* en los suelos de la zona sur de la Región Amazónica Ecuatoriana.
- Evaluar la incidencia de la aplicación de carbón vegetal sobre las condiciones químicas del suelo, la disponibilidad de nutrientes y las reservas C y de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Mn y Zn, en los terrenos de las plantaciones de las especies arbóreas maderables.
- Cuantificar la captura de CO₂ por las especies arbóreas maderables y el aporte de C al suelo.

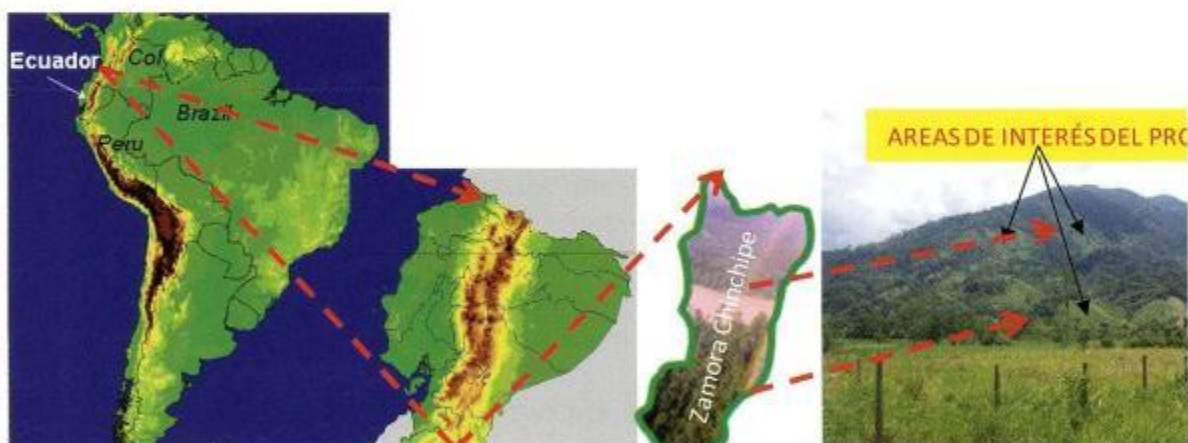


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

Sobre la base de los elementos expuestos, como hipótesis del proyecto se plantea que el carbón vegetal retendría en forma aprovechable tanto los nutrientes aplicados como los liberados por mineralización de la materia orgánica, disminuiría la lixiviación de los nutrientes por efecto de la abundante lluvia, y proveería a la planta los nutrientes en forma continua a lo largo de toda su vida; por su parte, la cal neutralizaría el aluminio tóxico. Todo ello se traduciría en un crecimiento más acelerado de la planta, una mayor producción de madera y biomasa en general, concomitantemente con una importante captura de CO₂, con directo beneficio económico y ambiental para los productores y para la zona en su conjunto.

Materiales y métodos

Zona de estudio

La zona de estudio corresponde al territorio del corredor de la red fluvial Zamora-Nangaritza, en la Zona Sur de la RAE, que se extiende entre las ciudades de Zamora en el Sur y Gualaquiza en el Norte, y que lo comparten los cantones Zamora, Yantzaza, Centinela del Cóndor, Nangaritza y El Pangui de la provincia de Zamora Chinchipe; y, Gualaquiza de la provincia de Morona Santiago (ver Figura 1).

El gran paisaje de la zona está constituido por un valle estrecho y alargado, con flancos de montañas a ambos lados, pertenecientes a las estribaciones de la Cordillera Real (Oeste) y parte de la Cordillera del Cóndor (Este). El principal sistema de drenaje es el río Zamora con sus afluentes principales los ríos Yacuambi y Nangaritza.

Las siguientes unidades fisiográficas se distinguen en la secuencia del valle hasta la cumbre de las montañas: *terrazas aluviales recientes y antiguas*, bien drenadas, con riesgo de inundación y mal drenadas (31 648 ha); ondulaciones, formadas por coluviones (12 235 ha); pie de monte (20 019 ha); colinas y montañas bajas (32 528 ha); colinas altas y montañas (106 294 ha); y, mesetas (8 762 ha).

Según Aspden y Litherland (1990), geológicamente la zona está ubicada cerca del borde de la cuenca pericratónica amazónica en proximidad con la Cordillera Real de los Andes Ecuatorianos (zona subandina). Se caracteriza por la presencia de: rocas antiguas de edad Triásica, constituidas por rocas metamórficas (Grupo Zamora); secuencias

sedimentarias y volcánicas mesozoicas del Jurásico y Cretácico, pertenecientes a la Formación Santiago y Chapiza; rocas sedimentarias cretácicas, de las formaciones Hollín y Napo; y, depósitos cuaternarios que forman terrazas aluviales y coluviales. Estas unidades están intruídas por rocas granodioríticas del Batolito de Zamora de edad Jurásica y rocas del tipo granito-gneis del Complejo Tres Lagunas.

A partir de la información que reporta el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) para el periodo de registro de 1970 a 1993 (23 años) de la estación meteorológica de Zamora, situada a 970 msnm, se derivan las siguientes características del clima para el piso bajo de la zona (850 a 1 000 msnm): temperatura media mensual 22,0°C; mínima 20,8°C y máxima 22,6°C, la precipitación media anual es de 1 945 mm, con un rango de 1 865 a 2 314 mm; y, la humedad relativa media mensual es de 88%.

Proceso de implementación de los experimentos

El proyecto contempla la instalación de tres experimentos de largo plazo (seis años), en sitios representativos de los suelos degradados por efecto de la ganadería, en las laderas del pie de monte, las colinas y las montañas bajas, de los cantones Zamora, Centinela del Cóndor y El Pangui.

Socialización del proyecto

Con la finalidad de disponer del apoyo de las instituciones de la zona de directa influencia en aquellas áreas en las que potencialmente se instalarían los experimentos, la primera actividad que se cumplió fue la socialización del proyecto en el Batallón de Selva "BS-62 Zamora" del Ejército Ecuatoriano y los municipios de Centinela del Cóndor y El Pangui (Figura 2). Esta actividad consistió en la exposición de la importancia del problema, la trascendencia social, económica y ambiental de la investigación, los objetivos y resultados esperados, y los beneficiarios potenciales.

Criterios para la selección de los sitios experimentales

En la selección de los terrenos de los sitios experimentales se consideraron los siguientes criterios: 1.- ubicación, en una de las unidades fisiográficas de pie de monte, colinas y montañas

bajas; 2.- pendiente media de 12 a 60 %; 3.- suelos profundos; 3.- rango de altitud de 850 a 1 000 msnm; 4.- superficie disponible de al menos 8 000 m²; 5.- evidencias de degradación por efecto de la ganadería (presencia del helecho *Pteridium aquilinum* conocido localmente como llashipa, erosión y/o abandonadas); 6.- seguridad para el registro de los datos sobre el crecimiento de los árboles y la evolución de las condiciones físico-químicas y de fertilidad de los suelos, al menos durante seis años; y, 7.- fácilmente accesibles desde la carretera principal, de manera que se constituyan en áreas demostrativas para facilitar la difusión de los resultados a la comunidad, e igualmente, que sirvan de escenarios de prácticas e investigación de los estudiantes de la Universidad Nacional de Loja de las carreras y programas de postgrado relacionados, en el marco de los fundamentos del Sistema Modular por Objetos de Transformación.

Producción y preparación del carbón vegetal

Considerando que las características físico-químicas del carbón están influenciadas por las especies vegetales de las cuales fue elaborado, lo cual puede afectar la variabilidad del experimento, se decidió disponer de carbón vegetal de una sola fuente, preparado con especies maderables debidamente identificadas. Para el efecto, la provisión del carbón vegetal se encargó a un carbonero tradicional del sector Santa Bárbara, de la parroquia Jimbilla, del cantón Loja, provincia de Loja, el mismo que fue elaborado a partir del material leñoso de los siguientes árboles: 80 % tábano *Casearia* sp. Flacourtiaceae; y, 20 % de cashco *Weinmania fagaroides*, canelo *Nectandra laurel* Nees y capulí *Prunus opaca* (Benth.) Walp. A la empresa metalmecánica SETCONET se encargó el diseño de un molino y las pruebas de molido del carbón, de manera de garantizar un tamaño de partícula inferior a 0,5 cm (recomendación de Bruno Glasser, comunicación personal).

Especies arbóreas maderables

Con la finalidad de que en un lapso de no más de 6 años se pueda registrar la información de la influencia del carbón vegetal y los nutrientes aplicados al suelo sobre el crecimiento de árboles maderables, se seleccionaron como especies indicadoras de rápido crecimiento (5 o 6 años) el pachaco (*Schizolobium parahybum*) y la melina *Gmelina arborea*.

Diseño experimental, tratamientos y Características de las parcelas

El diseño experimental consiste en un arreglo en parcelas subdivididas (2x2x3), en bloques al azar, con doce tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos corresponden a la combinación de tres factores en estudio: dos especies arbóreas (melina y pachaco); dos niveles de la combinación de cal y fertilización (sin y con); y tres niveles carbón vegetal (0,0, 3,0 y 6,0 t/ha), según se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Tratamientos, factores y niveles en estudio

Tratamientos	Factores	Niveles
T1 = A1F1 C1	Especies arbóreas	A1. Pachaco, <i>Schizolobium parahybum</i>
T2 = A1F2 C1		A2. Melina, <i>Gmelina arborea</i>
T3 = A1 F1 C2	Cal y fertilización	F1. 0 t cal / ha + 0 kg de nutrientes / ha
T4 = A1 F2 C2		F2. 2 me Ca2+ por 1 me AD+ / 100 g suelo (cal) + una dosis de N, P, K, Mg, S, Zn para cubrir la extracción total de la especie arbórea, que se decidió después de disponer de los análisis de los suelos de los sitios experimentales.
T5 = A1F1 C3	Carbón Vegetal	C1. 0 t carbón vegetal / ha
T6 = A1F2 C3		C2. 3,0 t carbón vegetal / ha
T7 = A2F1 C1		C3. 6,0 t carbón vegetal / ha
T8 = A2 F2 C1		
T9 = A2F1 C2		
T10 = A2F2 C2		
T11 = A2F1 C3		
T12 = A2F2 C3		

A = Árbol maderable; F = Fertilización; C = Carbón vegetal

Consecuentemente, cada bloque está formado por dos parcelas grandes para el factor especies arbóreas. A su vez, éstas se dividen en dos subparcelas para los dos niveles de la combinación de cal y fertilización mineral. Las sub-sub parcelas corresponden a los tres niveles de carbón vegetal (0,0; 3,0; y 6,0 t/ha). Cada sub-sub parcela contiene 16 plantas de una de las especies maderables, plantadas en cuadro a 3 x 3 m.

Las especificaciones de los bloques y las parcelas del experimento son las siguientes:

- Número de repeticiones (bloques) en cada sitio experimental: 4
- Número de plantas por sub- sub parcela de melina: 16; total por sitio: 384
- Número de plantas por sub- sub parcela de pachaco: 16; total por sitio: 384
- Área de la sub subparcela 12 x 12 m: 144 m²
- Número de sub-sub parcelas por sitio experimental: 48
- Área neta experimental por sitio: 6,912 m²

Caracterización de la geología, geomorfología y material parental de los suelos

La caracterización de la geología, la geomorfología y el material parental del suelo en los sitios experimentales seleccionados se realizó sobre la base de la revisión de las cartas de Zamora y Paquisha del Mapa Geológico del Ecuador escala 1:100 000 (Instituto Ecuatoriano de Minería DGGM 1989); para luego, comprobar en el campo las formas del terreno e identificar *in situ* la roca de la cual se había formado el suelo.

Caracterización de la cobertura vegetal

La caracterización de la cobertura vegetal implicó la identificación de las especies herbáceas, arbustivas y arbóreas de los sitios experimentales; así como, la delimitación de las áreas por tipos de vegetación: herbácea, arbustiva y arbórea, o sus combinaciones. En el caso de la vegetación herbácea se separaron las áreas cubiertas con pastos y llashipa.

Descripción de perfiles de suelos y toma de muestras alteradas e inalteradas

En cada uno de los bloques de los sitios experimentales, se preparó una calicata de 1,2 m de profundidad, en la cual se describió el perfil del suelo (4 perfiles por sitio experimental, 8 perfiles en total), siguiendo las normas contenidas en la "Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos" de la FAO (1975). De cada perfil se tomó una fotografía digital que se incluye en el texto de la descripción respectiva. La designación de los horizontes y capas se realizó siguiendo la nomenclatura contenida en el USDA Soil Taxonomy (2006).

De cada horizonte o capa de los perfiles de los sitios experimentales se tomaron muestras alteradas para los análisis físico-químicos de laboratorio (total 60 muestras). Además, de las capas de 00 – 20 cm y de 20 – 40 cm, se tomaron por duplicado muestras inalteradas con cilindros Kopecky de 100 cm³ de capacidad (32 en total), para la determinación de la densidad aparente y la retención de agua a pF 0, pF 2,52 (CC) y pF 4,2 (PMP).

Preparación del terreno, aplicación de los tratamientos y plantación

En los sitios experimentales se realizó con machete el desbroce de la vegetación arbustiva y arbórea; y,

la limpieza de la vegetación herbácea con barreta. En una parte del experimento de Zamora dominada por llashipa se procedió a quemar este material.

A continuación, en el experimento de Zamora, tomando como centro el punto señalado para la plantación de cada árbol, se trazó una circunferencia de 2,4 m de diámetro; en cambio, en el experimento de Panguinza, la circunferencia que se trazó para el sitio de plantación de cada árbol fue de 2 m de diámetro, debido a la fuerte pendiente del terreno.

Dentro del círculo así formado para cada caso, se distribuyó uniformemente la cal, los fertilizantes y el carbón vegetal, según el tratamiento correspondiente. A continuación, se incorporaron manualmente estos materiales hasta una profundidad de 25 cm usando una lampa. Esta remoción de suelo en el círculo señalado y hasta 25 cm se realizó también en los sitios de los árboles de las sub-subparcelas que no recibieron cal, fertilizantes ni carbón vegetal (testigo).

La dosis de cal (carbonato de calcio) para cada sitio experimental se establecieron a partir de los promedios ponderados del contenido de Al³⁺ intercambiable (extraído con KCl 1N) y de materia orgánica (método de Wakley Black), de las muestras tomadas de la capas superiores del suelo hasta 25 cm de profundidad, aplicando la siguiente relación: 2 cmol(+)/kg de Ca²⁺ por cada 1 cmol(+)/kg de Al³⁺ (Sys 1979). Consecuentemente, el requerimiento de cal para el experimento de Zamora fue de 5 t/ha; en tanto que, para el experimento de Panguinza fue de 3 t/ha. Como fuente de carbonato de calcio se utilizó cal agrícola comercial de 95% de pureza.

Cabe señalar que la cantidad de cal y de carbón vegetal que se aplicó al sitio de cada árbol, fue aquella proporcional a la superficie del círculo respectivo.

El paquete de fertilización consistió en la aplicación combinada de 200 kg/ha de N, 150 kg/ha de P, 200 kg/ha de K, 118 kg/ha de Mg, y 40 kg/ha de Zn, cuyas dosis para cada planta y las fuentes de estos elementos se detallan en el cuadro 2.

A continuación, se procedió a realizar la plantación de las especies maderables seleccionadas. Las plántulas de melina de cinco meses de edad se obtuvieron del vivero forestal de la Escuela Superior Politécnica del Ejército, Extensión de Santo Domingo de los Tsáchilas; en tanto que,

las plántulas de pachaco, también de alrededor de cinco meses de edad, se obtuvieron de viveros de la zona del proyecto.

Cuadro 2. Dosis de elementos aplicados por planta y fuentes utilizadas

Elemento	kg/ha	g planta	Fuente	Nombre comercial
N	200	182	Urea Fosfato diamónico	Urea 46% N 18-46-00
P	150	136	Fosfato Diamónico	18-46-00
K	200	182	MgK ₂ (SO ₄) ₂	Sulpomag
Mg	118	107	MgK ₂ (SO ₄) ₂	Sulpomag
Zn	40	36	ZnSO ₄	Sulfato de Zinc

Determinación de la infiltración básica

En cada bloque de los dos sitios experimentales, a una distancia de aproximadamente 1 a 2 m de cada perfil, se realizó por duplicado una prueba de infiltración (16 pruebas en total), mediante el método del doble anillo, durante el tiempo necesario hasta alcanzar la infiltración básica (alrededor de 4 horas).

Cuantificación inicial del carbón almacenado en la biomasa y en el suelo

La cuantificación de la biomasa en los diferentes tipos de cobertura vegetal se realizó utilizando un cuadro de madera de 1 m² que fue lanzado al azar sobre el terreno. La biomasa contenida dentro del cuadro se cortó a ras del suelo y se pesó. A continuación se tomó una muestra de aproximadamente 1 kg de materia fresca, la cual fue llevada al laboratorio para la determinación de la materia seca (40°C) y del carbón orgánico.

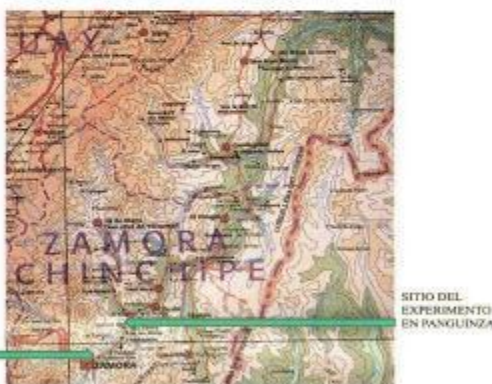


Figura 2. Ubicación de los sitios experimentales en La Victoria (cantón Zamora) y Los Zapotes (Parroquia Panguinza, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe)

Para la determinación del carbón almacenado en el suelo, en cada sub-subparcela, utilizando un barreno se tomaron muestras de los 25 cm superiores del suelo, incluida la capa orgánica, los cuales se remitieron al laboratorio para el análisis respectivo.

Resultados

Ubicación de los sitios experimentales

En la primera etapa de la investigación se seleccionaron dos de los tres sitios experimentales programados.

El primer sitio corresponde a un terreno ubicado en el sector La Victoria, perteneciente a la Unidad "BS-62 Zamora", del Ejército Ecuatoriano, en el cantón Zamora, entre las siguientes coordenadas 9 552541 y 9552562 O; y, 0730436 y 0730492 S; y a una altitud entre 949 y 964 msnm.

El segundo sitio experimental está ubicado en la finca "Los Zapotes", de propiedad del señor Héctor Ochoa, en la parroquia Panguinza del cantón Centinela del Cóndor, entre las siguientes coordenadas 9 5668110 y 9 5668160 O; y, 0741799 y 0741868 S; y, a una altitud entre 875 y 917 msnm.

Características fisiográficas y geológicas de los sitios experimentales

En el sitio La Victoria, el paisaje corresponde a pie de monte, el tipo de relieve es una vertiente y la forma del terreno es una ladera moderadamente escarpada, con 15 % de pendiente promedio. Geológicamente se asienta en el gran Batolito de Zamora, de alrededor de 1800 km², que se presenta como un cuerpo alargado en dirección NNE-SSW, compuesto de leuco granodioritas y granodioritas hornbléndicas, sin clastos (piedras) en la superficie ni afloramientos rocosos.

En el sitio Los Zapotes, el paisaje corresponde a pie de monte, el tipo de relieve es una vertiente y la forma del terreno es una ladera muy escarpada de 60 % de pendiente promedio. El material parental del suelo está constituido por rocas de lavas afaníticas de color gris verdoso, identificadas como andesita y brechas tobáceas, que corresponden al Miembro Superior de la Formación Chapiza del Jurásico.

Especies vegetales identificadas en los sitios experimentales

Los Cuadros 3 y 4 contienen la lista de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas identificadas en los sitios seleccionados antes de la instalación de los experimentos.

Cuadro 3. Especies herbáceas, arbustivas y arbóreas en el del sitio La Victoria, BS-62, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, antes de la implementación del ensayo

Tipo de vegetación	Nombre local	Nombre científico	Familia	Ocurrencia por tipo de vegetación (%)
Herbácea	Brachearia	<i>Urochloa decumbens</i> (Staff) R.Webster	Poaceae	36,7
	Yaragua	<i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.	Poaceae	4,6
	Tapa tapa	<i>Axonopus compresus</i> (Sw.) P. Beauv		4,6
	LLashipa	<i>Pteridium arachnoideum</i> (Kaulf.) Maxon.	Dennstaedtiaceae	54,1
Total				100
Arbustiva	Sierra	<i>Miconia</i> Sp.	Melastomataceae	5
	Sarnoso	<i>Mauria heterophylla</i> Kunth.	Anacardiaceae	5
	Chilca	<i>Chromolaena laevigata</i> (Lam.) R.M.King & H.Rob.	Asteraceae	18
	Lantana	<i>Lantana</i> sp.	Verbenaceae	5
	Zarza Mora	<i>Rubus urticifolius</i> Poir.	Rosaceae	10
	Chilca	<i>Baccharis trinervis</i> Pers.	Asteraceae	18
	Laritaco	<i>Vernonanthura patens</i> (Kunth) H.Rob.	Asteraceae	10
	Matico	<i>Piper aduncum</i> L.	Piperaceae	5
	Limoncillo	<i>Siparuna aspera</i> (Ruiz & Pauv) A.Dc.	Monimiaceae	5
	Sauco	<i>Cestrum racemosum</i> Ruiz & Pau.	Solanaceae	5
	Sierra	<i>Tibouchino</i> sp.	Elastomataceae	5
		<i>Clidemia capitellata</i> (Bonpl.) D.Don.	Melastomataceae	2
	Cadillo	<i>Triumfetta althaeoides</i> Lam.	Tiliaceae	2
		<i>Ageratina</i> sp.	Asteraceae	1
		<i>Lepidaploa canescens</i> (Kunth) H.Rob.	Asteraceae	1
		<i>Zanthoxylum</i> sp.	Rutaceae.	1
	Poleo	<i>Hyptis</i> sp.	Lamiaceae	1
	<i>Helychium coronarium</i> J. Konig.	Zingiberaceae.	1	
Total				100
Arbórea	Achotillo	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch	Eelusiaceae	55
	Guayabo	<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	20
	Tunashe	<i>Piptocoma discolor</i> (Kunth) Pruski.	Asteraceae	10
	Maco maco	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R.Br.ex Roem & Shult	Myrsenaceae	15
Total (%)				100

En la vegetación herbácea del sitio La Victoria predomina la llashipa (54,1 %), seguida del pasto brachearia (36,7 %), entre las arbustivas sobresalen dos tipos de chilcas *Chromolaena laevigata* y *Baccharis trinervis* con 18 % cada una; y, en las arbóreas las más frecuentes son el achotillo (55 %) y el guayabo (20 %).

En la vegetación herbácea del sitio Los Zapotes predominan los pastos *Brachiaria* (20 %), *Panicum laxum* (20 %) y merkerón, también se encuentra llashipa en menor proporción; entre las arbustivas sobresalen *Ossaea capillaries* (25 %) seguida de *Tibouchina* sp (15 %); y, en el grupo de las arbóreas el más frecuente está el guayabo (60 %).

Cuadro 4. Especies herbáceas, arbustivas y arbóreas en el del sitio Los Zapotes, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe, antes de la implementación del ensayo.

Tipo de vegetación	Nombre local	Nombre científico	Familia	Ocurrencia por tipo de vegetación (%)
Herbácea	Brachiaria	<i>Urochloa decumbes</i> (Stapf.)R. D. Webster	Poaceae	20
	Merkeron	<i>Setaria sphacelata</i> (Schumach.) Stapf & C.E.Hubb. ex Chipp	Poaceae	15
	Pasto	<i>Panicum laxum</i> Sw.	Poaceae	20
	Pasto	<i>Paspalum paniculatum</i> L.	Poaceae	8
	Pasto	<i>Paspalum conjugatum</i> Bergius	Dennstaedtiaceae	8
	Llashipa	<i>Pteridium arachnoideum</i> (Kaulf.) Maxon		5
	Cosa cosa	<i>Sida rhombifolia</i> L.	Malvaceae	5
	Pasto	<i>Elephantopus mollis</i> Kunth	Asteraceae	5
	Pasto	<i>Pseudoelephantopus spicatus</i> (B.Juss. ex Aubl.) C.F.Baker	Asteraceae	5
	Pasto	<i>Hypericum canadense</i> L.	Hypericaceae	5
		<i>Senecio</i> sp	Asteraceae	5
		<i>Onoseris</i> sp	Asteraceae	5
		<i>Aciotis</i>	Melastomataceae	2
	Verbenilla	<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (Rich.) M. Vahl	Verbenaceae	5
	Pedorrera	<i>Ageratum conyzoides</i> L.	Asteraceae	3
		<i>Hyptis</i> sp	Lamiaceae	2
		<i>Cyperus luzulae</i> (L) Rottb. ex Retz	Apocynaceae	2
Total			100	
Arbustiva	Verbena	<i>Verbena litoralis</i> Kunth	Verbenaceae	10
		<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cron quist	Asteraceae	5
	Santa María	<i>Piper umbellatum</i> L.	Piperaceae	5
	Lantana	<i>Lantana</i> sp	Verbenaceae	5
		<i>Hyptis</i> sp	Lamiaceae	10
	Sierra	<i>Tibouchina</i> sp	Melastomataceae	15
		<i>Ossaea capillaris</i> (D.Don) Cogn.	Melastomataceae	25
		<i>Selaginella flexuosa</i> Spring.	Selaginellaceae	10
		<i>Mandevilla</i>	Apocynaceae	5
		<i>Macrocarpaea lenae</i> . J.R. Grant	Gentianaceae	10
Total			100	
Arbórea	Guayabo	<i>Psidium guajava</i> L.	Myrtaceae	60
	Caucho o Sucha	<i>Himatanthus articulatus</i> (M. Vahl) Woodson	Apocynaceae	10
	Uva de de monte	<i>Pourouma bicolor</i> Mart.	Cecropiaceae	10
	Chonta o pambil	<i>Wettinia maynensis</i> Spruce	Arecaceae	10
		<i>Schefflera</i> sp	Araliaceae	10
Total			100	

Sitio La Victoria, Zamora

Como es normal en la naturaleza, los cuatro perfiles estudiados en el sitio La Victoria no son idénticos, pero presentan capas con características similares; así, son suelos muy profundos, formados a partir de roca granodiorítica del gran Batolito de Zamora.

Hasta una profundidad de 1,20 m están conformados por una delgada capa orgánica (Horizonte O) de 3 a 4 cm de espesor, un horizonte Ap de 14 a 16 cm de espesor, de color gris muy oscuro a negro, franco al tacto; un horizonte AE (o EA), de 12 a 20 cm de espesor, gris muy oscuro, franco arenoso a arenoso franco al tacto; una transición BE de 12 a 24 cm de espesor; uno o dos horizontes Bt de color pardo amarillento, arcillo arenoso al tacto, con recubrimientos de arcilla (cutanes) muy delgados y discontinuos; una transición CB de 22 cm de espesor amarillo castaño, arcilloso al tacto; y, un horizonte C, de color blanco, arcillo limoso al tacto, con granos de cuarzo menores y mayores a 2 mm.

En la capa superior del suelo mineral se observan abundantes raíces finas, disminuyendo a muy pocas hasta 80 a 100 cm de profundidad. Estos suelos han sido clasificados como Typic Kandihumults (USDA Soil Taxonomy 2006).

El pH_{H_2O} es de 4,9 para el horizonte Ap, disminuyendo gradualmente hasta 4,7 en los horizontes inferiores, valores que se ubican en el rango calificado como muy fuertemente ácido.

En todos los horizontes minerales el pH_{KCl} es menor al pH_{H_2O} en un rango de 0,7 a 0,8 unidades, situación que evidencia que el suelo tiene carga eléctrica negativa neta en todo el perfil.

El H^+ oscila entre 1,35 y 2,16 $cmol(+)kg^{-1}$, con el mayor valor para el horizonte mineral superior, y variando irregularmente con la profundidad, con los menores valores en los dos últimos horizontes.

De igual forma, los contenidos de Al^{3+} disminuyen gradualmente con la profundidad, con el valor más alto de 1,32 $cmol(+)kg^{-1}$ para el horizonte Ap; y, el más bajo de 0,39 $cmol(+)kg^{-1}$ para el horizonte C, lo que indica que a medida que se desciende hasta el material parental del suelo, disminuye el contenido de Al^{3+} .

Siguiendo la misma secuencia, los valores de acidez intercambiable ($H^+ + Al^{3+}$), también disminuyen con la profundidad, correspondiendo el valor más

alto (3,48 $cmol(+)kg^{-1}$) al horizonte Ap, y el menor valor (1,74 $cmol(+)kg^{-1}$) al horizonte C.

Cuadro 5. Reacción, acidez cambiante y materia orgánica del Perfil 1 del sitio La Victoria, BS-62, cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

Horizonte	Profundidad cm	pH_{H_2O}	pH_{KCl}	H^+ $cmol(+)kg^{-1}$	Al^{3+}	$H^+ + Al^{3+}$	MO %
O	00 - (-0,4)						
Ap	00 - 16	4,9	4,0	2,16	1,32	3,48	3,76
AE	16 - 30	4,8	4,1	1,62	1,28	2,90	2,84
Bt1	30 - 50	4,8	4,0	1,89	1,01	2,90	2,01
Bt2	50 - 70	4,7	4,0	2,16	0,74	2,90	0,79
CB	70 - 92	4,7	4,0	1,35	0,68	2,03	0,33
C	92 - 120	4,7	3,9	1,35	0,39	1,74	0,17

El contenido de materia orgánica (MO), oscila entre 0,17 % para el horizonte C y 3,76 % para el horizonte Ap.

Los valores de MO en los tres horizontes minerales superiores se encuentran en el rango calificado como medio; en tanto que, en los tres horizontes inferiores los valores corresponden al rango muy bajo.



Figura 3. Perfil del suelo en el sitio La Victoria (cantón Zamora)

En el cuadro 6 se presenta los resultados de la determinación de la velocidad de infiltración básica en cada uno de los cuatro bloques del sitio experimental La Victoria (terreno del BS-62). Los valores promedio de las dos pruebas corresponden a una velocidad de infiltración que va desde moderadamente lenta (1,7 cm/h) para el bloque I, a moderadamente rápida (6,9 cm/h) para el bloque III.

Cuadro 6. Infiltración básica en los bloques del sitio experimental La Victoria (BS-62), cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe

Bloque	prueba 1 (cm/h)	prueba 2 (cm/h)	Promedio (cm/h)	Calificación
I	1,4	1,9	1,7	Mod. Lenta
II	9,5	2,7	6,1	Media
III	10,3	3,4	6,9	Mod. Rápida
IV	3,9	5,5	4,7	Media
PROMEDIO	6,3	3,4	4,8	Media

Sitio Los Zapotes, Panguinza

En el sitio Los Zapotes, los cuatro perfiles estudiados no son idénticos, pero presentan capas con características similares; así, son suelos muy profundos, formados a partir de andesita y brechas tobáceas. Se asume que los horizontes O, Ah y hasta el E han desaparecido por mineralización y erosión, respectivamente, tanto por el cambio del bosque natural con pastos, como por la fuerte pendiente del terreno; por lo que, hasta una profundidad de 120 cm, los suelos están conformados un horizonte superior designado como Ap (por haber estado con pastos cultivados, aunque originalmente corresponde a un horizonte Bt1) de 10 a 18 cm de espesor, pardo amarillento oscuro, franco, franco limoso a franco arcilloso al tacto; un horizonte Bt21 de 22 a 50 cm de espesor; amarillo rojizo a pardo fuerte, franco arcillo limoso, arcillo limoso a arcilloso al tacto; un horizonte Bt22, de 40 a 50 cm de espesor, pardo claro a amarillo rojizo, arcillo limoso a arcilloso al tacto; y, un horizonte BC (o CB), de 12 a 30 cm de espesor, amarillo rojizo a pardo amarillento oscuro, a veces con manchas rojo amarillentas, franco limoso a arcillo limoso al tacto. En uno de los perfiles se identificó también un horizonte C, pardo amarillento oscuro, con manchas de color oliva, franco a franco limoso al tacto. En la capa superior se observan abundantes raíces finas y muy finas, disminuyendo a muy pocas hasta 120 cm. Estos suelos han sido clasificados como *Rhodic Kandihudlts* (USDA Soil Taxonomy 2006).

En el cuadro 7 se presenta los resultados del análisis de laboratorio del perfil 1 (tomado como referencia) del sitio Los Zapotes, en cuanto a pH en H₂O y KCl, acidez cambiante y contenido de materia orgánica.

Los valores de pH_{H₂O} oscilan entre 4,5 y 4,9, variando irregularmente con la profundidad, y ubicándose en el rango calificado como muy fuertemente ácido.

Cuadro 7. Reacción, acidez cambiante y materia orgánica del Perfil 1. Sitio Los Zapotes, parroquia Panguinza, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe

Horizonte	Profundidad cm	pH _{H₂O}	pH _{KCl}	H ⁺ cmol(+)/kg ⁻¹	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	MO %
Ap	00-18	4,9	4,0	1,35	1,35	2,90	2,84
Bt21	18-40	4,5	3,8	2,00	3,51	5,51	2,64
Bt22	40-90	4,8	3,9	1,52	4,86	6,38	2,08
Bt23	90-120	4,9	3,8	1,48	4,32	5,80	0,92



Figura 4. Perfil del suelo en el sitio Los Zapotes. Parroquia Panguinza, cantón Centinela del Cóndor.

En todos los horizontes minerales el pH_{KCl} es menor al pH_{H₂O}, en un rango de 0,7 a 1,1 unidades, situación que evidencia que el suelo tiene carga eléctrica negativa neta en todo el perfil.

Los valores de H⁺ van de 1,48 a 2,00 cmol(+)/kg⁻¹, con el mayor valor para el horizonte mineral Bt21, variando irregularmente con la profundidad, y con los menores valores en los dos últimos horizontes.

En cambio, los valores de Al³⁺ aumentan gradualmente con la profundidad, con el valor más alto 4,86 cmol(+)/kg⁻¹ para el horizonte Bt22; y, el más bajo 1,35 cmol(+)/kg⁻¹ para el horizonte Ap, lo que indica que a medida que se desciende hasta el material parental del suelo, aumenta el contenido de Al³⁺.

Similar secuencia se evidencia en los valores de acidez intercambiante (H⁺ + Al³⁺), que también aumentan con la profundidad, correspondiendo el valor más alto (6,38 cmol(+)/kg⁻¹) al horizonte Bt22 y el menor (2,90 cmol(+)/kg⁻¹) al horizonte Ap.

El contenido de materia orgánica (MO), oscila entre 0,92% para el horizonte Bt23 y 2,84% para el horizonte Ap. Los valores de MO en los tres horizontes minerales superiores se encuentran en el rango calificado como medio; en tanto que, en el horizonte inferior el valor corresponde al rango muy bajo.

En el cuadro 8 se presenta los resultados de la determinación de la infiltración básica en cada uno de los cuatro bloques del sitio experimental Los Zapotes (Panguinza). La infiltración básica promedio de las dos pruebas va desde muy lenta (0,003 cm/h) para el bloque IV, a moderadamente lenta (1,10 cm/h) para el bloque I

Cuadro 8. Infiltración básica en los bloques del sitio experimental Los Zapotes, Panguinza, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe

BLOQUE	PRUEBA 1 (cm/h)	PRUEBA 2 (cm/h)	PROMEDIO (cm/h)	CALIFICACIÓN
I	2,1	0,1	1,10	Mod. Lenta
II	0	0,62	0,31	Lenta
III	0,2	1,2	0,7	Mod. Lenta
IV	0,004	0,001	0,003	Muy Lenta
PROMEDIO	0,576	0,480	0,528	Mod. Lenta

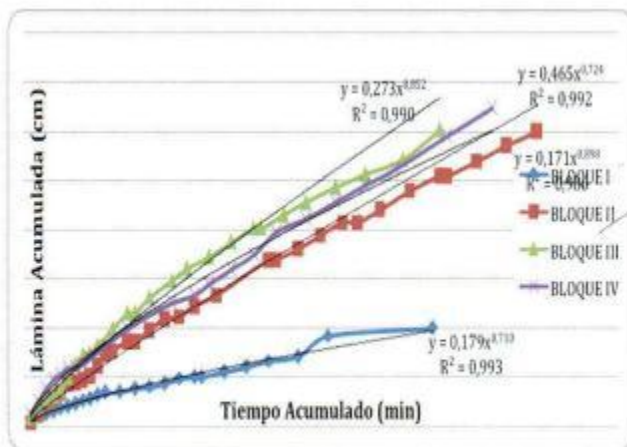


Figura 5. Curvas de infiltración acumulada en el sitio La Victoria.

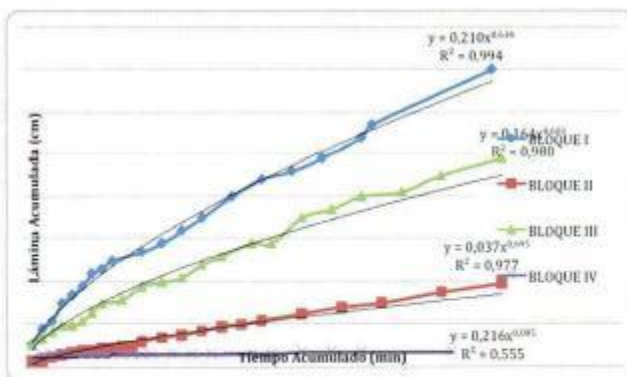


Figura 6. Curvas de infiltración acumulada en el sitio Los Zapotes, Parroquia Panguinza, cantón Centinela del Cóndor.

Discusión

El carbón vegetal aplicado

Es necesario advertir que si bien el carbón utilizado proviene de árboles que fueron cortados con la finalidad de disponer de este material como única opción para la instalación de los experimentos, la aplicación de los resultados que se busca obtener con la ejecución del proyecto en cuanto al uso del carbón vegetal como material de enmienda para retener en forma aprovechable tanto los nutrientes aplicados como aquellos liberados por mineralización de la materia orgánica, evitando así su pérdida por efecto de la abundante lluvia o la formación de compuestos insolubles por acción de los materiales reactivos del suelo, de ninguna manera se concibe sobre la base de cortar árboles para carbonizarlos (lo cual sería ambientalmente insostenible); sino, de aplicar al suelo carbón producido a partir de desechos de biomasa que se generan en las propias fincas (por ejemplo, tuzas del maíz, paja de arroz, aserrín, etc.) o de la basura biodegradable urbana, lo cual no es materia de la presente investigación. Este tipo de carbón vegetal, cuyo destino no es como combustible, sino de mejorador de suelos y de sumidero de carbono atmosférico, internacionalmente se lo denomina Biochar.

Las especies maderables indicadoras

En virtud de que estratégicamente se requiere disponer de los resultados en un tiempo relativamente corto, se seleccionaron especies arbóreas de rápido crecimiento, como son la melina y el pachaco, cuyo turno para pulpa es de 5 o 6 años.

El pachaco es un árbol leguminoso originario de la Amazonia, de rápido crecimiento, de fuste recto, alcanzando hasta 22 m de altura y DAP de alrededor de 1 m. Su madera, de densidad liviana, tiene diferentes usos (contrachapados, aglomerados, enlistonados, pulpa, y como mediodo aislamiento), aporta nitrógeno al suelo y por su rápido crecimiento contribuye a la captura de CO₂ en un tiempo relativamente corto, en comparación con las maderas más duras. La industria maderera nacional utiliza el pachaco en la elaboración de tableros y pulpa para tableros de fibra, con un aporte de 10 %.

La melina es un árbol originario de la India, bajo

condiciones adecuadas es una de las especies de mayor crecimiento en el mundo. Los frutos se emplean para la preparación de champú, el follaje joven es apetecido por los animales, sus flores son bastante melíferas, las hojas, los frutos y la corteza se utilizan con fines medicinales, produce carbón de elevado poder calorífico, su turno para pulpa es de 5 a 6 años y para madera de 12 años. Ha sido exitosamente cultivada en América Tropical. En el Ecuador se han venido estableciendo plantaciones en las zonas de Santo Domingo, Quevedo y Quinindé (CORMADERA 2002).

En todo caso, la utilización en los experimentos de las dos especies indicadas, no significa que los mejores resultados que se generen en cuanto a la gestión de la fertilidad del suelo en las áreas de las laderas degradadas de la zona no se puedan aplicar en el futuro en la repoblación forestal con especies principalmente nativas de crecimiento más lento y posiblemente de mayor valor comercial, tales como, guayacán, caoba, cedro, yumbingue, etc.

Las dosis de carbón vegetal, cal y nutrientes y su forma de aplicación

Las dosis de 0, 3 y 6 t/ha de carbón vegetal fueron seleccionadas luego de revisar los resultados obtenidos por otros investigadores que han estudiado la aplicación de éste como material para mejorar la fertilidad en los suelos del trópico húmedo.

Las cantidades diferentes de cal que se aplicaron en los dos experimentos instalados, responden al hecho que los suelos del trópico húmedo tienen una baja capacidad de amortiguamiento (debido al tipo de coloides minerales predominantes); por lo que, una sobredosis de cal es muy peligrosa y puede desequilibrar químicamente el suelo con efectos nocivos para las plantas, siendo entonces únicamente necesario neutralizar el Al^{3+} que es tóxico para las plantas, y no necesariamente elevar la reacción del suelo hasta la neutralidad.

Las dosis de N, P, K, Mg, y Zn que se aplicaron, fueron establecidas tomando como referencia tanto los resultados de los contenidos totales de estos elementos de muestras de suelos de la zona que se tomaron en el 2004 y que fueron analizadas en el Laboratorio de Suelos de la Universidad de Göttingen – Alemania, como sobre las cantidades de nutrientes contenidas en los árboles maduros de las especies seleccionadas y los reportados por

otros autores (Lehmann 2003, Marques 2004, Onyekwelu 2006, Swamy et al. 2003.).

La incorporación del carbón vegetal, la cal y los nutrientes, hasta una profundidad de 25 cm y en un círculo de diámetro de 2,4 m en el experimento de la Victoria y de 2,0 m en el experimento de los Zapotes, se sustenta en el hecho que la mayor cantidad de las raíces en los bosques de ladera en la zona se distribuyen hasta 30 cm de profundidad y de que según Glaser et al. (2001) la capa de 0 cm es la más importante en cuanto al aporte de nutrientes a las plantas. La diferencia del diámetro del círculo en los dos sitios experimentales responde tanto a las dificultades de remover el suelo en terrenos de pendiente muy escarpada (promedio de 60 % en el sitio los Zapotes), como al elevado riesgo de erosión.

Representatividad de los sitios experimentales

Los dos sitios experimentales son representativos de las características fisiográficas, geológicas y edafológicas predominantes en la zona. Por un lado, ambos se encuentran en laderas del pie de monte, con un rango de pendiente de 15 a 60 %; y, por otro, tanto el gran Batolito de Zamora (formado predominantemente por granodioritas) en el que se ubica el experimento del sitio La Victoria (Zamora), como la Formación Chapiza (andesita y brechas tobáceas) en el que se localiza el experimento del sitio Los Zapotes (Panguinza), se hallan ampliamente distribuidos en el área de estudio, constituyendo el material parental del cual se han formado los suelos en cada caso; y, por ende, siendo el clima el mismo, la variación de las características de los suelos está determinada por el tipo de material parental y la forma del terreno.

La biodiversidad: especies vegetales

Antes de la instalación de los experimentos en el sitio La Victoria se identificaron 26 especies (4 herbáceas, 18 arbustivas y 4 arbóreas) y en el sitio Los Zapotes 33 especies (18 herbáceas, 10 arbustivas y 5 arbóreas). No obstante que los sitios experimentales corresponden a pastizales degradados por la intervención antrópica, en ambos casos el número de especies vegetales evidencia una importante biodiversidad.

En ambos casos aparece la llashipa como especie indicadora de suelos muy fuertemente ácidos y con presencia de aluminio tóxico, aunque en el sitio los

Zapotes su ocurrencia es menor debido a que poco antes de la instalación del experimento había sido pastoreado.

Las características de los suelos: procesos de pedogénesis

Entre las características pedogenéticas destacables en los suelos estudiados del sitio La Victoria, es pertinente hacer referencia al cambio de textura entre el horizonte Ap y el horizonte AE (o EA), con una mayor cantidad de arena que se evidencia en este último, atribuida a una acumulación residual por migración de la arcilla hacia los horizontes inferiores, aunque se mantiene el mismo color oscuro del horizonte superior.

En los suelos del sitio Los Zapotes, entre las características del perfil resultantes de los procesos pedogenéticos, merece mencionar la presencia de los horizontes Bt con estructura en bloques subangulares finos, medios y gruesos, moderadamente desarrollados; y, con recubrimientos de arcilla (cutanes) discontinuos y delgados, lo que evidencia la migración de arcilla.

En comparación con los suelos del sitio La Victoria, estos suelos no presentan un horizonte superior de color oscuro, y son de textura más fina y con predominancia de coloración rojiza.

En ambos casos, los suelos son muy profundos, fuertemente ácidos, con importante presencia de aluminio intercambiable y con posible predominio de caolinita en la fracción coloidal mineral, por lo que pertenecen al orden Ultisoles, lo cual guarda correspondencia con la edad del material parental y el clima de la zona. Ventajosamente aún presentan carga negativa neta, lo que no hubiese sido la situación de ser el pH_{KCl} mayor al pH_{H_2O} .

Velocidad de infiltración

El rango de la infiltración básica promedia de las cuatro pruebas realizadas por duplicado en La Victoria (1,7 a 6,9 cm/h), evidencia la variabilidad espacial de las condiciones físicas del suelo en este sitio, lo cual se podría relacionar con el tipo de cobertura vegetal del terreno. En el caso del bloque I, cubierto inicialmente de pasto, la infiltración moderadamente lenta devendría de la concomitante presencia de ganado vacuno, el mismo que por el pisoteo habría ocasionado cierta compactación del suelo; en cambio, el bloque III, inicialmente

cubierto por vegetación arbustiva, la infiltración moderadamente rápida se atribuiría tanto a la menor compactación como a los canalículos que forman las raíces de estas plantas. En todo caso, el promedio general de 4,8 cm/h, correspondiente a una velocidad de infiltración media, se atribuye a la delgada capa orgánica; así como, a la textura franca, la estructura granular y la presencia de abundantes raíces en el horizonte Ap.

En el sitio Los Zapotes, el rango de valores de la velocidad de infiltración básica que va desde muy lenta a moderadamente lenta también evidencia la variabilidad espacial de las condiciones físicas del suelo, atribuida al diferente grado de compactación por el ganado. El promedio general de 0,528 cm/h, correspondiente a una velocidad de infiltración moderadamente lenta, se podría explicar además por la acción conjunta de varios factores: la ausencia de la capa orgánica y del horizonte Ap, la textura más fina de los horizontes superiores (franco limosa a arcillo limosa), el débil a moderado desarrollo de la estructura en bloque subangulares y el menor contenido de materia orgánica.

Las variaciones de la velocidad de infiltración básica promedio entre los dos sitios experimentales, 4,8 cm/h (infiltración media) y 0,528 cm/h (infiltración moderadamente lenta) para La Victoria y Los Zapotes, respectivamente, implican importantes diferencias en el comportamiento del suelo frente a la lluvia, el almacenamiento del agua y los procesos erosivos relacionados. Así, una intensidad de lluvia mayor a 48 mm/h generaría escurrimiento superficial (escorrentía) en el terreno de La Victoria; mientras que en Los Zapotes, una lluvia de intensidad mayor a 5,3 mm/h, ya produciría escorrentía, la cual acelerada por la fuerte pendiente del terreno, produciría condiciones de mayor erosión del suelo. Adicionalmente, una mayor cantidad de lluvia se infiltrará y almacenará en el suelo de La Victoria que en Los Zapotes.

Conclusiones

- Los criterios aplicados tanto en la selección de los dos sitios experimentales como en la instalación de los ensayos, guardan correspondencia con las hipótesis, el tiempo para disponer de los resultados, la pendiente del terreno y la distribución del sistema de raíces de los árboles en las laderas de la zona.

- Los dos sitios en los cuales se han instalado los experimentos son representativos de las características fisiográficas, geológicas y edafológicas predominantes en las dos zonas: piedemonte, laderas de 15 a 60 % de pendiente, con evidencias de degradación por la ganadería.
- En el sitio la Victoria (cantón Zamora) los son suelos muy profundos, formados a partir de roca granodiorítica del gran Batolito de Zamora. Son muy fuertemente ácidos, con carga negativa neta, presencia de Al^{3+} , con contenidos medio de materia orgánica para la capa superior del suelo mineral y muy bajo para los horizontes inferiores. La infiltración básica varía entre moderadamente lenta (1,7 cm/h) y moderadamente rápida (6,9 cm/h). Preliminarmente han sido clasificados como *Typic Kandihumults*.
- En el sitio Los Zapotes (cantón Centinela del Cóndor), los suelos muy profundos, formados a partir de andesita y brechas tobáceas. Se asume que los horizontes superiores han desaparecido por mineralización y erosión. Son muy fuertemente ácidos, con carga negativa neta, presencia de Al^{3+} , con contenidos medio de materia orgánica para la capa superior y muy bajo para los horizontes inferiores. La infiltración básica varía entre muy lenta (0,003 cm/h) a moderadamente lenta (1,10 cm/h). Preliminarmente han sido clasificados como *Rhodic Kandihudlts*.
- La variación espacial de la velocidad de infiltración en los dos sitios experimentales se atribuye al tipo de cobertura inicial del terreno y la historia de compactación por la ganadería.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología por el co-financiamiento del proyecto; al Batallón de Selva BS 62, al señor Héctor Ochoa y al Municipio de Centinela del Cóndor por haber concedido los terrenos para la instalación de los experimentos; al Prof. Wolfgang Wilcke y al Prof. Bruno Glaser, por los importantes criterios y opiniones.

Literatura citada

Aspden J. Litherland, M. 1990. Cordillera Real. IV Informe, citado en Instituto Ecuatoriano de

Minería. Mapa geológico del Ecuador. Hojas de Paquisha y Zamora. Instituto Geográfico Militar. Quito, Ecuador.

Bechtold G. 2002. Anthrohumox in brazilian lowland. Summary of Thesis. <http://www.geocites.com/gbechtold/gbtp1.html> (consultado 2010).

Cochrane T. Sánchez, P. 1980. Land resources, soil properties and their management in the Amazon region: a state of knowledge report. In: International Conference on Amazon Land Use and Agricultural Research, CIAT. Cali, Colombia.

CORMADERA 2002. Guías técnicas para Plantaciones Forestales en el Ecuador. CORMADERA, Quito Ecuador, Gmelina arborea, pp. 85-111.

FAO 1975. Guía y Claves para la Descripción de Perfiles de Suelos.

Glaser B. Haumaier, L. Guggenberger, G. Zech, W. 2001 The "Terra Preta" phenomenon: a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88: 37-41.

Glaser B. Lehmann, J. Zech, W. 2002a. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. *Biology and Fertility of Soils*: 35:219-230

Glaser B. Guiggenberger, G. Zech, W. 2002b. Past anthropogenic influence on the present soil properties of anthropogenic dark earths (Terra Preta) in Amazonia. Brazil.

Goldberg E. 1985 Black carbon in the environment. Wiley, New York.

Instituto Ecuatoriano de Minería (DGGM) 1989. Mapa geológico del Ecuador. Hojas de Paquisha y Zamora. Instituto Geográfico Militar. Quito, Ecuador.

Instituto nacional de Metereología e hidrología del Ecuador (INAMHI). Series de datos de la Estación Meteorológica de Zamora 1970 – 1973.

Marques T. Guedes, J. Coelho, M. Ferreira, P. 2004. Exigencias nutricionais do paricá (*Schizolobium amazonicum* Herb) na fase de muda. *Cerne*, Lavras 10: 167 – 183.

- Lehmann J. Silva, J. Rondon, M. Silva, C. Greenwood, J. Nehls, T. Steiner, C. Claser, B. 2002. Slash-and-char- a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon. In: Soil Science: Confronting New Realities in the 21st century. 7th World Congress of Soil Science, Bangkok.
- Lehmann J. Silva, J. Steiner, C. Nehls, T. Zech, W. Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archeological Anthrosol and a Ferrasol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249: 343-357.
- Lotter D. 2002. Tropical soil fertility, Terra Preta soils of the Amazon. News and research. The new farm.
- Mgagwu J. Piccolo, A. 1997. Effects of humic substances from oxidized coal on soil chemical properties and maize yield. In: Drozd J. Gonet SS. Senesi N, Weber J (eds) The role of humic substances in the ecosystems and in environmental protection. IHSS, Polish Society of Humic Substances, Wroclaw, Poland, pp 921-925.
- Onyekwelu J. Mosandl, R. Stimm, B. 2006. Productivity, site evaluation and state of nutrition of *Gemelina arborea* plantations in Oluwa AND Omo forest reserves, Nigeria. *Forest Ecology and Management* 229: 214-227.
- Schmidt N. Skjemstad, J. et al. 1999. Charred organic carbon in German chernozemic soils. *Eur J Soil Sci* 50:351-365 (1999).
- Seiler W. Crutzen, P. 1989. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning. *Climate Change* 2:207-247.
- Swamy S., Puri, S. Singh, A. 2003. Growth, biomass, carbon storage and nutrient distribution in *Gemelina arborea* satnds on red lateritic soils in central India. *Bioresource Technology* 90: 109-126.
- Sys C. 1979. Regional Pedology- Tropical Soils. Part II. International Training Centre for Post-graduate Soil Scientists. Lecture notes. State University of Ghent.
- Tenembaum D., Carbon mitigation from the ground up. *Environmental Health Perspectives* 117 (2).
- United States Departament of Agriculture 2006. Keys to Soil Taxonomy. Tenth Edition. Natural resource Conservation Service 332 p.
- Valarezo C. 2004. Características, distribución, clasificación y capacidad de uso de los suelos en la Región Amazónica Ecuatoriana (Universidad Nacional de Loja- Programa de Modernización de los Servicios Agropecuarios –PROMSA. Editorial Universitaria, Loja.
- Valarezo C. Iñiguez, M, Valarezo, L. y Guaya, P. 1998. Condiciones Físicas de los Suelos de la Región Sur del Ecuador. Una guía para proyectos de riego, drenaje, manejo y conservación de suelos Universidad Nacional de Loja. Ecuador.

El Centro de Estudios y Desarrollo de la Amazonía (CEDAMAZ) constituye una instancia especializada de trabajo interdisciplinario y de coordinación interna y externa de la Universidad Nacional de Loja, en los niveles local, regional, nacional e internacional, que impulsa la acción conjunta entre los docentes-investigadores y estudiantes de las diferentes Áreas Académico Administrativas con los diversos actores sociales de la Amazonía, así como una amplia cooperación con los actores sociales externos.


CONTENIDO

ARTICULOS DE REVISION

- Seguridad Alimentaria
- Servicios Ecosistémicos
- Uso de la Biodiversidad
- Minería

ARTICULOS DE INVESTIGACIÓN

- Acuicultura
- Manejo de recursos

A map of Ecuador is shown in a light green color. Overlaid on the map are several nature photographs: a waterfall, a butterfly, a red and black butterfly, and a landscape with a pond and trees.

El CONSEJO NACIONAL DE EVALUACIÓN Y ACREDITACIÓN DE LA EDUCACIÓN SUPERIOR, considerando que la UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, cumple con las normas legales y reglamentarias que rigen los procesos de autoevaluación, evaluación externa y acreditación, resuelve otorgar al Alma Mater lojana, el certificado de ACREDITACIÓN INSTITUCIONAL, mediante resolución N° 003-CONEA-2010-111-DC, que entró en vigencia a partir del 4 de marzo del 2010.

