



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

“EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES MINERALES SOBRE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL SUELO; EN UNA ÁREA REFORESTADA CON MELINA (*Gmelina arbórea*), EN LA PARROQUIA PANGUINTZA, CANTÓN CENTINELA DEL CÓNDOR, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”

Tesis de grado previa a la obtención del título de ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente.

AUTOR:

Pablo Andrés Peñafiel Jumbo.

DIRECTOR:

Ing. Osmani López Celi Mg. Sc.

ZAMORA -ECUADOR

2016

CERTIFICACIÓN

Ing. Osmani Eduardo López Celi. Mg. Sc.

DOCENTE DE LA MODALIDAD DE ESTUDIOS PRESENCIAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE DEL PLAN DE CONTINGENCIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA, SEDE ZAMORA.

CERTIFICO:

Que el presente trabajo de titulación denominado: "EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES MINERALES SOBRE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL SUELO; EN UNA ÁREA REFORESTADA CON MELINA (*Gmelina arborea*), EN LA PARROQUIA PANGUINTZA, CANTÓN CENTINELA DEL CÓNDOR, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE", desarrollado por el señor Pablo Andrés Peñafiel Jumbo, ha sido elaborada bajo mi dirección y cumple con los requisitos de fondo y de forma que exigen los respectivos reglamentos e instructivos.

Por ello autorizo su presentación y sustentación.

Zamora, 07 de noviembre de 2016

Atentamente,



Ing. Osmani Eduardo López Celi. Mg. Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AUTORÍA

Yo Pablo Andrés Peñafiel Jumbo, declaro ser autor del presente Trabajo de Tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional-Biblioteca Virtual.

AUTOR: Pablo Andrés Peñafiel Jumbo.

FIRMA:



CÉDULA: 1900906843

FECHA: Loja, 09 de diciembre de 2016.

**CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR
PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y
PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.**

Yo, Pablo Andrés Peñafiel Jumbo, declaro ser autor de la Tesis titulada "EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES MINERALES SOBRE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL SUELO; EN UNA ÁREA REFORESTADA CON MELINA (*Gmelina arborea*), EN LA PARROQUIA PANGUINTZA, CANTÓN CENTINELA DEL CÓNDOR, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE", como requisito para optar por el grado de: INGENIERO EN MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE, autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Digital Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Digital Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la Tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los doce días del mes de diciembre del dos mil diez y seis, firma el autor:

AUTOR: PABLO ANDRÉS PEÑAFIEL JUMBO.

FIRMA: 

CÉDULA: 1900836843

DIRECCIÓN: Yantzaza, calles 28 de Febrero y Manchinatza.

CORREO ELECTRÓNICO: pablinp92@gmail.com

TELÉFONO: 23C0662 **CELULAR:** 0959597274

DATOS COMPLEMENTARIOS

DIRECTOR DE TESIS: Ing. Osmani Eduardo López Celi, Mg. Sc.

TRIBUNAL DE GRADO

Ing. Galo Enrique Ramos Campoverde, Mg. Sc. (Presidente)

Ing. Fausto Ramiro García Vasco Mg. Sc. (Vocal)

Ing. Hilter Farley Figueroa Saavedra Mg. Sc. (Vocal)

DEDICATORIA

Este Trabajo se lo dedico principalmente a Dios, por haberme guiado y cuidado en todo momento. De igual manera se lo dedico con cariño a mis familiares en especial a mi madre Celina Jumbo, a mi tía Nelly Jumbo y a mis hermanos; Melina, Verónica, María, y Fernanda, como también a mi abuelo Ángel Jumbo, por el apoyo incondicional, moral y económico durante todo el proceso de formación académica.

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a mi Padre Dios, por guiarme por el buen camino y bendecirme para llegar a culminar mi formación académica, por tenerme con salud; de la misma manera agradezco a mis familiares y amigos por el apoyo incondicional. En especial a José, Leandro, Henry y Verito, ya que ellos se ha compartido momentos hermosos y sobre todo su apoyo moral para continuar con mi carrera.

De igual manera agradezco a los Ingenieros Miguel Villamagua y Luis Valarezo por el asesoramiento e impartido sus conocimientos con entusiasmo y motivación durante todo el proyecto de investigación; de igual manera a los Ingenieros Omaní López y Galo Ramos por ser la guía durante el proceso de formación académica, como de igual manera durante el proceso de elaboración del proyecto de investigación.

1 TÍTULO

“EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DEL CARBÓN VEGETAL, CAL Y NUTRIENTES MINERALES SOBRE LAS CONDICIONES FÍSICAS DEL SUELO; EN UNA ÁREA REFORESTADA CON MELINA (*Gmelina arbórea*), EN LA PARROQUIA PANGUINTZA, CANTÓN CENTINELA DEL CÓNDOR, PROVINCIA DE ZAMORA CHINCHIPE”

2 RESUMEN

En la parroquia Panguintza del cantón Centinela del Cóndor provincia de Zamora Chinchipe en el periodo 2009-2013 bajo el auspicio económico de la SENESCYT y la UNL, se ejecutó el proyecto de investigación “ Gestión de la fertilidad de los suelos con enmiendas de carbón vegetal para especies maderables en el sur de la amazonia ecuatoriana” cuyo propósito fue orientar a generar alternativas para la repoblación forestal productiva de las áreas degradadas, en el marco de una gestión sostenida de la fertilidad de los suelos. Es en este marco se ejecutó la presente investigación cuyo objetivo general fue el de evaluar la incidencia del carbón vegetal, cal y nutrientes minerales sobre las condiciones físicas del suelo. Los factores estudiados fueron: fertilización: Cal (5 t ha^{-1}), N (200 kg ha^{-1}), P (150 kg ha^{-1}), K (200 kg ha^{-1}), Mg (118 kg ha^{-1}), S (229 kg ha^{-1}), Zn (40 kg ha^{-1}) y sin fertilización: (0 t ha^{-1} cal + 0 kg ha^{-1} de nutrientes); y carbón vegetal (0 t ha^{-1} , 3 t ha^{-1} y 6 t ha^{-1}). El diseño experimental fue bifactorial (2×3), en bloques al azar, con seis tratamientos y tres repeticiones. Para la determinación de la velocidad de infiltración se utilizó el método del doble anillo. La curva característica de humedad se la calculo mediante el equipo de succión en el laboratorio de suelos de la UNL, para lo cual se tomaron muestras no disturbadas con los cilindros Koppecky de 100 cm^3 las mismas que fueron sometidas a presiones de 0,1/10, 1/3 y 15 atmosferas, y con cuyos resultados se evaluó las características físicas del suelo; en tanto que para conocer la materia orgánica, y pH se tomaron muestras alteradas. La velocidad de infiltración básica promedio paso del $0,528 \text{ cm/h}$ considera como moderadamente lenta a $2,32 \text{ cm/h}$ considerada como moderada. La capacidad de aireación de los diferentes tratamientos se encontraron en el rango de 1,48% al 2,50%, que corresponde

físicamente a muy bajos; mientras que el agua aprovechable se encontró en el rango de muy alto; consecuentemente el carbón vegetal y la cal no influyeron en el mejoramiento de la condiciones físicas de los tratamientos manteniéndose en el rango de muy pobres.

2.1 Summary

In the Panguintza the Centinela del Condor country, Zamora Chinchipe province in the year 2009-2013 under the economic sponsorship of SENESCYT and UNL, the investigation of project carried out "Management of soil fertility with coal amendments for forest species in the South of the Ecuadorian Amazon " the purpose was to generating alternatives for the productive reforestation of the degraded areas, in the time frame of a sustained management of the soil fertility. In the present investigation the general objective was to evaluate the incidence of coal, lime and mineral nutrients on the physical conditions of the soil. The factors studied were: fertilization: Cal (5 t ha⁻¹), N (200 kg ha⁻¹), P (150 kg ha⁻¹), K (200 kg ha⁻¹), Mg), S (229 kg ha⁻¹), Zn (40 kg ha⁻¹) and without fertilization: (0 t ha⁻¹ lime + 0 kg ha⁻¹ nutrients); and coal (0 t ha⁻¹, 3 t ha⁻¹ and 6 t ha⁻¹). The experimental design was bifactorial (2x3), by chance blocks, with six treatments and three repetitions. For the determination of the rate of performance infiltration used, the double ring method. The contour line humidity characteristic of was calculated by the suction equipment in the soil laboratory of the UNL, which undisturbed samples were taken with the 100 cm³ Koppecky cylinders which were subjected to pressures of 0. 1/10, 1/3 and 15 at, the results were evaluated the physical characteristics of the soil; in order to know the organic matter, and pH samples were taken altered. The basic infiltration rate average reached 0.528 cm/h as moderately slow and 2.32 cm/h considered as moderate. The aeration capacity of the different treatments were in the range of 1.48% to 2.50%, which corresponds physically very low; while the useable water was found in the high status; consequently the coal and lime did not influence the improvement of the physical conditions of the treatments keeping in the rank of very poor.

3 INTRODUCCIÓN

Ante la necesidad de recuperar productivamente los suelos de ladera del territorio del corredor de la red fluvial Zamora–Nangaritza, degradados por efecto de la conversión del bosque natural a pastizales para la ganadería bovina, la Universidad Nacional de Loja (UNL) viene desarrollando el proyecto de investigación “*Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el Sur de la Amazonia Ecuatoriana*”, cuyo objetivo general se orienta a generar alternativas para la repoblación forestal productiva de las áreas degradadas, en el marco de una gestión sostenida de la fertilidad de los suelos. (Villamagua, 2014).

La problemática principal de esta investigación es la degradación creciente de los suelos por actividades intensivas del ser humano (aprovechamiento forestal, siembra y ganadería extensiva en laderas con pendiente al 60 %) provocando la erosión y compactación del suelo originándose un problema social, económico y ambiental.

Los finqueros desarrollan sus actividades en pendientes de 12 a 60%. La misma que empieza con el aprovechamiento del bosque natural que constituye en la extracción de especies arbóreas de valor comercial, posteriormente proceden a la tumba, roza, en ocasiones quema del bosque remanente, para la siembra de cultivo de naranjilla, y pastizales con el objeto de establecer la ganadería. 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 laminar 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, boro, 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 (alrededor de 50 000 ha), la misma que sigue creciendo a expensas de la destrucción del bosque primario. (Valarezo, et al. citado por Villamagua, 2014, p.2)

Valarezo et al. (1998) mencionan que “las plantas no solo dependen de la presencia y cantidad de los nutrientes químicos (fertilidad química), sino también del estado y movilidad del agua y el aire; y de los atributos mecánicos del suelo (velocidad de infiltración y curva de retención del agua)”, haciéndolo difícil a los microorganismos disponer los nutrientes a las plantas. (p. 21)

Es por ello que se implementado la reforestación con Melina (*Gmelina arbórea*) y las combinaciones de enmiendas de carbón, cal y nutrientes. El presente proyecto de investigación se basa en la “Evaluación de la incidencia del carbón vegetal, cal y nutrientes minerales sobre las condiciones físicas del suelo; en una área reforestada con melina (*Gmelina arbórea*), en la parroquia Panguintza, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe”, el mismo que permitió analizar las propiedades físicas (CA, AA, y la Infiltración), al término de los 6 años de haber implantado el ensayo experimental. Además los resultados de esta investigación permitirán disponer de información relevante sobre la importancia de reforestar.

Conociendo que la vegetación es el principal elemento de vida en la tierra, pues es el mayor transformador de sustancias que existen; sin vegetación no puede existir otro tipo de vida sobre la tierra y ésta depende del agua, el suelo y la atmósfera. El agua constituye más del 70% de las plantas, el suelo le sirve de sustento y proveedor de nutrientes y la atmósfera controla el suministro de agua, energía, oxígeno, nitrógeno y CO₂. (Rojas s/f p.1). Lo que permitirá a los agricultores y a instituciones competentes utilizar esta especie para mejorar las condiciones físicas del suelo.

OBJETIVOS

Objetivo General.

Evaluar la incidencia del carbón vegetal, cal y nutrientes minerales sobre las condiciones físicas del suelo; en una área reforestada con melina (*Gmelina arborea*), en la parroquia Panguintza, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe.

Objetivos Específicos

- Determinar la evolución de la velocidad de infiltración del agua en el suelo, en las plantación maderable de Melina (*Gmelina arborea*) establecida en el experimento Panguintza.
- Conocer la evolución de la curva de retención del agua en el suelo, en el experimento Panguintza.

4 REVISIÓN DE LITERATURA.

4.1 Condiciones físicas del suelo.

La condición física de un suelo, determina, la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad, y la retención de nutrientes. Se considera necesario para las personas involucradas en el uso de la tierra, conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas, en qué medida y cómo la actividad humana puede llegar a modificarlas, y comprender la importancia de mantener las mejores condiciones físicas del suelo posibles. (Rucks et, al. 2004 p.1)

4.2 Suelos de la zona sur de la amazonia ecuatoriana.

Según la caracterización a los suelos de la zona sur de la amazonia ecuatoriana Valarezo (2004) menciona que:

En el corredor fluvial Zamora-Nangaritza, el estado de meteorización ferralítica de los suelos (desarrollo del perfil, fertilidad potencial y actual), guarda estrecha relación con la forma del relieve, lo que a la vez está vinculado a la edad del material parental y las condiciones de drenaje. Así, los suelos en estado reciente sin desarrollo del perfil (Fluvents de color pardo) se encuentran en los valles aluviales; los suelos en estado intermedio (Inceptisoles) de color pardo amarillento, en las terrazas antiguas y en el pie de monte; y, los suelos en estado avanzado (Ultisoles de color rojo amarillento) en las laderas de las colinas y montañas. (p. 201)

Duque (2012) sostiene que:

La mayor parte de los suelos amazónicos son pobres en nutrientes y tienen un bajo potencial de retención, especialmente en lo referente al calcio, al potasio y al fósforo. Sin embargo, sobre los suelos pobres crece una tupida vegetación, lo que ha llegado a confundir a muchos, porque se supone "que debajo de un bosque ubérrimo existen suelos fértiles". El bajo contenido de nutrientes se debe a dos causas: (i) a las altas temperaturas y precipitaciones, y (ii) a la historia geológica de la región. La intensa meteorización y lavado (lixiviación) a través de millones de años ha removido los nutrientes de los minerales que forman los materiales parentales del suelo. La pérdida de los nutrientes por lavado o erosión no puede ser reemplazada por la meteorización del subsuelo, como sucede en las regiones más templadas. Los suelos amazónicos también tienen una muy baja capacidad de retención de los nutrientes, que se originan de la descomposición de la materia orgánica. Esto se debe, en parte, a la alta concentración de aluminio e hidrógeno, que ocupan los espacios en que los nutrientes deberían ser retenidos. La sobrevivencia del bosque no está amenazada, porque las especies de árboles de la Amazonía se han adaptado a suelos altamente meteorizados y lavados. Una de las adaptaciones más importantes es la concentración de raíces en la superficie del suelo, que permiten capturar los nutrientes provenientes de la descomposición de la materia orgánica y evitar que se pierdan por lavado. En conclusión en el bosque amazónico los nutrientes se encuentran en su mayor parte en la biomasa (plantas y animales) y no en el suelo. Las plantas arbóreas tienen una alta capacidad de recapturar los nutrientes provenientes de la descomposición de la materia orgánica por las raíces superficiales y la participación de hongos (Mycorrhiza), este sistema es de alta eficiencia y permite la conservación de los nutrientes en el ecosistema. En consecuencia, cuando se destruye el bosque (tala y quema) los suelos producen por un corto periodo (2 a 3 años) y pierden su fertilidad, porque es interrumpido el reciclaje de los nutrientes y los que existen (cenizas y materia orgánica) y son lavados por las intensas lluvias. (p.2)

4.3 Características de un buen sustrato.

Según FAO (2002) menciona que para el buen desarrollo de la vida sobre el suelo, el sustrato debe contener las siguientes condiciones.

Tabla 1.- Datos específicos de un buen sustrato.

- Densidad aparente	0,22 g/cm ³
- Densidad real	1,44 g/cm ³
- Espacio poroso total	85%
- Fase sólida	10-15%
- Contenido de aire	20-30%
- Agua fácilmente disponible	20-30%
- Agua de reserva	6-10%
- Ph	5,5-6,5
- Capacidad de intercambio catiónico	10-30 meq/100 g peso seco
- Contenido de sales solubles	200 ppm (2mS/cm)

Fuente: FAO, 2002.

Para el Ministerio del Ambiente de Ecuador (2015) “la calidad del suelo debe contener un pH en rango de 6 a 8”. (p.118)

4.4 Relación agua-suelo-planta.

Heredia (2014) menciona que:

Las características y propiedades físicas de los suelos afectan el movimiento, retención del agua en el suelo y su relación con el desarrollo de las plantas; las cuales deben ser consideradas en el diseño y operación de sistemas de riego y drenaje. El suelo está formado por partículas, que a su vez forman agregados. Entre estas partículas y los agregados se encuentran espacios que tienen agua y aire. Además estas partículas y agregados influyen de modo notable en el movimiento y retención del agua en el suelo y en el consiguiente efecto sobre el crecimiento y producción de los cultivos, dado que tanto el agua como el aire son elementos esenciales para el desarrollo de la planta. En general el suelo orgánico está compuesto básicamente de minerales, material orgánico, fase líquida y gaseosa. Las cantidades de cada uno de estos compuestos varían para cada suelo y con el contenido de humedad. Un suelo ideal debe contener (25% de agua, 45% de minerales, 25% de aire, 5% de MO. (p. 17)

4.4.1 Sobre las actividades de las plantas.

Heredia (2014) menciona que las plantas son afectadas adversamente por lo menos en cuatro modos por una pobre aireación, “disminución del crecimiento de la planta, y sobre todo de las raíces, se reduce la absorción de nutrientes, disminuye la absorción de agua, hace que se formen y acumulen ciertos compuestos tóxicos inorgánicos que actúan contra el crecimiento de las plantas”. (p.26)

4.5 La conservación del suelo.

La revista Cafetal (2013) menciona que:

El suelo representa el recurso de producción más importante, ya que da soporte a las plantas en forma de una capa permeable para las raíces y es una especie de depósito para los nutrientes y el agua, por lo que su manejo requiere de la adopción de prácticas para su conservación. Estas prácticas tienen como principal función disminuir la velocidad del agua en suelos ubicados en laderas con el fin de evitar la erosión, interceptándola, reteniéndola e infiltrándola, evitando el arrastre del suelo escurrido como también una buena reposición de la materia orgánica, mantienen una adecuada reacción química, buena o adecuada cubierta vegetal.(parr. 1-4)

Rojas (s/f) sostiene que:

La función más conocida del suelo es la de dar soporte o sustentación a la vegetación. El término “sustentación” puede interpretarse como el de dar apoyo a la vegetación o como dar alimento o ambas cosas. En realidad ocurren ambas cosas y de esa manera el suelo proporciona estabilidad a las plantas, le ofrece nutrientes y agua. Por otro lado, el suelo puede contener sales y sustancias tóxicas que perjudican el crecimiento de las plantas y estratos compactados que limitan el desarrollo de los mismos. Como contrapartida, la vegetación mejora los suelos incorporando materia orgánica y dándole protección contra la erosión. (p.24)

4.6 La reforestación.

La reforestación es una operación en el ámbito de la silvicultura destinada a repoblar zonas que en el pasado histórico reciente estaban cubiertas de bosques que han sido eliminados por diversos motivos como pueden ser: explotación de la madera para fines industriales y/o para consumo como plantas, ampliación de la

frontera agrícola o ganadera, ampliación de áreas rurales, Incendios forestales (intencionales, accidentales o naturales). (Linea Verde, 2016)

Rojas (s/f) sostiene que:

La importancia del tema puede enfocarse desde varios puntos de vista dependiendo de un interés particular y de la finalidad que se persigue. Por ejemplo para un estudio de abastecimiento de agua, las plantas pueden considerarse sólo como consumidoras de agua y protectoras contra la erosión y los suelos como un sistema de almacenamiento. Por otro lado, para la producción vegetal es necesario conocer todas las relaciones. Para el ambientalista este conocimiento debe ser mayor puesto que es necesario considerar la conservación del ambiente en general y en ese sentido se debe incluir los aspectos de fauna y calidad de vida para los seres humanos.

La vegetación constituye el principal factor de vida en la tierra pues es el mayor transformador de sustancias que existe y es el principal elemento de la cadena alimentaria del planeta; sin vegetación no puede existir otro tipo de vida sobre la tierra y ésta depende del agua, el suelo y la atmósfera. El agua constituye más del 70% de las plantas, el suelo le sirve de sustento y proveedor de nutrientes y la atmósfera controla en suministro de agua, energía, oxígeno, nitrógeno y CO₂. El agua constituye la mayor superficie del planeta, sin embargo, su distribución espacial y temporal es tan irregular que genera grandes contrastes tales como desiertos y zonas anegadizas. Por otra parte, la distribución de los suelos y calidad de los mismos implica que muchas veces aún con disponibilidad de fuentes de agua no es posible su utilización. (p.1)

4.6.1 Aporte de biomasa aérea.

Bastienne et al. (citado por Barragan, 2008) mencionan que “como el peso de la materia orgánica que existe en un determinado ecosistema forestal por encima y por debajo del suelo y es cuantificada en ton/ha de peso verde o seco. La materia orgánica

fresca sin descomponer está formada por los componentes de los animales o vegetales: hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, lípidos, elementos minerales y otros; estos componentes, sufren una serie de transformaciones que originan la materia orgánica”. (p.20)

Estrada (1997) menciona que “el pachaco es rico en nitrógeno que lo capta a través de las bacterias nitrificantes simbióticas al aportar al suelo ramas y hojarasca, que fertilizan de forma natural a los cultivos que lo acompañan (agroforestería), quedando un sobrante en su propio beneficio y a favor de una progresiva fertilidad del suelo”. (p.51)

4.6.2 Sistemas silvopastoriles.

Un sistema silvopastoril es una opción de producción pecuaria en la cual las plantas leñosas perennes (árboles y/o arbustos) interactúan con los componentes tradicionales (animales y plantas forrajeras herbáceas) bajo un sistema de manejo integral. (LLanderan, s/f p.1)

El propósito de estos sistemas es lograr un sinergismo entre los animales, los pastos, los árboles y el suelo, para mejorar la productividad y sostenibilidad, así como beneficios ambientales y no comerciales; tienen una base científica multidisciplinaria e involucra la participación de los campesinos en su identificación, diseño y ejecución. (Burley y Speedy, 1998 p.13)

4.6.2.1 Especies de uso múltiple.

Resumen las gramíneas, leguminosas y árboles multiuso que forman parte de los sistemas silvopastoriles de la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE), de la siguiente manera: a) gramíneas: marandú *Brachiaria brizantha*, clasificado por (Stapf, 1919) y saboya enano *Panicum maximun*, clasificado por (Linneo, 1778).

b) leguminosas arbustivas: mata ratón *Gliricidia sepium*, clasificado por (Jacquin, 1842) flemingia *Flemingia macrophylla*, clasificado por (Willd.) y leucaena *Leucaena leucocephala*, clasificado por (Lamark, 1783). c) leguminosas herbáceas (rastreras): a) maní forrajero *Arachis pintoi* clasificado por (Krapov y Greg, 1994). d) árboles multiuso: capirona *Calyeophillum spruceanun*, clasificado por (Arostegui, 1987), cedro *Cedrela odorata*, clasificado por (Linneo, 1759), sangre de drago *Croton lechleri*, clasificado por (Baillon, 1864), guarango *Parkia multijuja*, clasificado por (Benth, 1875) guayaba *Psidium guajava*, clasificado por (Linneo, 1753) y cítricos *Citrus spp.* (Vera y Riera citado por Valarezo s/f. p.24).

4.6.2.1.1 Melina (*Gmelina arbórea*)

Esta especie forestal es originaria de la India, considerada como la especie de mayor crecimiento en el mundo. El follaje es apetecido por los animales, sus flores son melíferas, las hojas, frutos y la corteza se utilizan con fines medicinales, produce carbón de elevado poder calorífico, su turno para pulpa y madera es de 5 a 6 y 12 años, respectivamente. Es una madera blanda, con una densidad de 580 kg m⁻³. (Vinueza, citado por Villamagua 2014, p. 18)

Tabla 2.- Clasificación taxonómica de la *Gmelina arbórea*

Reino	Plantae
División	Angiosperma
Clase	Eudicotyledoneae
Subclase	Asteridae
Orden	Lamiales
Familia	Lamiaceae
Género	<i>Gmelina</i>
Especie	<i>G arbórea</i>
Nombre vulgar	Melina.

Fuente: Ecuador Forestal (2012)

Según Ecuador Forestal (2012) afirma que:

El hábitat natural de *Gmelina arborea*, son los bosques mixtos que fluctúan entre 1.000 – 4.500 mm anuales de precipitación, con una altitud de 0- 1.000 msnm y una temperatura de 22- 27 °C. Prefiere suelos profundos, húmedos, bien drenados, fértiles de los valles aluviales franco o franco arenosos prefiere suelos alcalinos o ácidos, pero generalmente se adapta a suelos muy ácidos y lixiviados, adaptándose en suelos calcáreos y moderadamente compactados.(p.19)

Zambrano et al., (citado por Conde y Delgado , 2015) mencionan lo siguiente:

La biomasa aérea como las raíces, mejoraría los espacios porosos del suelo y los agregados del mismo, y de allí incrementar la capacidad de retención de humedad, especialmente en zonas áridas y semiáridas, como también estabiliza los agregados del suelo, evitando la erosión del suelo de igual forma incrementa la materia orgánica, incentivando la vida de los microorganismos, los mismos que aumentan paralelamente según como aumente la materia orgánica. Esta alternativa puede ser implementada en zonas de pastoreo, como sistemas silvopastoriles o como sistemas agroforestal. (p.11).

4.7 Evaluación de servicios ambientales.

Jatun Sacha (2013) recopila la siguiente información:

Algunos economistas han intentado medir el valor económico total de los ecosistemas forestales. Aunque la conversión de estos beneficios a unidades monetarias está condicionada por cuestiones metodológicas y éticas, los decisores pueden utilizar la información para determinar las políticas forestales óptimas. En concreto, el valor económico de conservar el bosque puede compararse con los usos de tala de madera o con el desarrollo agrícola. Aunque bien es cierto que el beneficio de conservar el bosque a menudo supera el beneficio de los usos extractivos. Basándose en el impacto al bienestar humano

que tendría la disminución, tanto en cantidad como en calidad, de los diversos servicios ambientales, se ha estimado que los bosques tropicales a nivel mundial brindan servicios ecológicos que pueden ser valorizados hasta en 38 trillones de dólares al año, con un promedio de 969 dólares por hectárea al año. Solamente un 20% de estos beneficios serían originados por usos extractivos (Constanza *et al.*, 1997).

En cuanto a la valorización económica del servicio de acumulación de Carbono que prestan los bosques y sistemas agroforestales, también se han realizado varios estudios principalmente a partir de que el artículo 17 del protocolo de Kyoto permite a los países producir certificados de reducción de emisiones CERs (Por sus siglas en inglés), desde lo cual se han establecido varios sistemas de intercambio o canje de carbono (Pretty y Ball, 2001).

Hay tres formas de calcular el valor del carbono en los diferentes sistemas de comercialización e intercambio: i) la primera opción es adjudicar un valor calculado del costo externo de cada tonelada de carbono emitido a la atmósfera, evaluando los costos del daño, de la mitigación y de la adaptación; ii) la segunda opción es calcular el costo de implementación de proyectos dirigidos a un objetivo preciso tal como el Protocolo de Kyoto; iii) la tercera opción consiste en identificar que sectores comerciales están en condiciones de pagar a terceros por las emisiones de carbono. (p 28)

FAO (2002) sostiene que:

Estudios realizados en Europa estiman el costo de las emisiones de CO₂ en alrededor de 95 dólares americanos por tonelada de Carbono de acuerdo con los modelos *ExternE* y *Open Fund* (Pearce *et al.*, 1996; Eyre *et al.*, 1997; Holland *et al.*, 1999). Dichos modelos estudian los efectos externos del efecto invernadero como es el cambio climático, la salud humana, aumento en el nivel del mar, disponibilidad de agua, e incidencia de tormentas, inundaciones y sequías (Eyre *et al.*, 1997). Dicho valor de \$95 representa un valor bastante superior a los valores

de crédito de carbono existente que varían ampliamente entre 1 y 38 dólares americanos por tonelada de carbono- si bien los valores más comunes se encuentran entre 2,50 y 5,00 dólares. (p .29)

4.8 El agua.

El ciclo hidrológico involucra un proceso de transporte recirculatorio e indefinido o permanente, este movimiento permanente del ciclo se debe fundamentalmente a dos causas: la primera, el sol que proporciona la energía para elevar el agua (evaporación); la segunda, la gravedad terrestre, que hace que el agua condensada descienda (precipitación y escurrimiento).(Ordoñez, 2011, p.10)

Chereque (1989) entiende como “el conjunto de cambios que experimenta el agua en la naturaleza, tanto en su estado (sólido, líquido y gaseoso) como en su forma (superficial, sub-superficial, subterránea, etc.)”.

4.8.1 Precipitación

A toda agua meteórica que cae en la superficie de la tierra, tanto en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y las precipitaciones ocultas (rocío, la helada blanca, etc.). Ellas son provocadas por un cambio de la temperatura o de la presión. La precipitación constituye la .única entrada principal al sistemas hidrológico continental (Musy, 2001, p. 11)

4.8.2 Evaporación.

“Se define como el proceso mediante el cual se convierte el agua líquida en un estado gaseoso. La evaporación puede ocurrir solamente cuando el agua está disponible. También se requiere que la humedad de la atmósfera ser menor que la superficie de evaporación (a 100% de humedad relativa no hay evaporación”. (Ordoñez, 2011, p.12)

4.8.3 Intercepción

“Es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora”. (Ordoñez, 2011, p.12)

4.8.4 Evotranspiración

“Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración”. (Ordoñez, 2011, p.13)

4.8.5 Escorrentía superficial

“Es la porción de lluvia que no es infiltrada, interceptada o evaporada y que fluye sobre las laderas. En realidad la escorrentía superficial, la infiltración y la humedad del suelo son interactivas entre sí.” (Ordoñez, 2011, p.14)

4.9 Factores que afectan a la velocidad de infiltración y curva de retención del agua.

4.9.1 La textura.

Rucks, et al., (2004) mencionan que “la textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo, arcilla”. (p.2)

Valarezo et, al. (1998) mencionan que la textura:

Se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla del suelo. La clasificación de estas partículas se hace de acuerdo a su tamaño. En general, la curva característica de humedad es fuertemente afectada por la textura del suelo, es decir a mayor contenido de arcilla, mayor contenido de agua retenida a cualquier succión particular y mas gradual será la pendiente de la curva. En un suelo arenoso, la mayoría de los poros son relativamente grandes, por lo que una vez que estos poros han sido vaciados a una cierta succión, solamente queda retenida una cierta cantidad de agua.(pp. 44-45)

Tabla 3.- *Textura de suelos.*

Arena	Diametro de 2.00 mm-0.05mm
Limo	Diametro de 0.05 mm-0.002mm
Arcilla	Diametro menores a 0.002mm

Fuente: Valarezo et, al. 1998.

4.9.2 La estructura.

Rucks, et al. (2004) mencionan que:

Se la define como el arreglo de las partículas del suelo. Se debe entender por partículas, no solo las que fueron definidas como fracciones granulométricas (arena, arcilla y limo), sino también los agregados o elementos estructurales que se forman por la agregación de las fracciones granulométricas. Por lo tanto, «partícula» designa a toda unidad componente del suelo, ya sea primaria (arena, limo, arcilla) o secundaria (agregado o unidad estructural). (p.11)

4.9.3 Porosidad

Miller et, al. (citado por Naulo , 2006) mencionan que:

El espacio poroso es importante porque los poros del suelo están completamente llenos de agua y aire. El agua y el aire también se mueven a través de los espacios de poros. Así pues, la provisión de agua y de oxígeno para el crecimiento de las plantas y la tasa de movimiento del agua en el suelo está relacionada con la cantidad y tamaño de poros del mismo.(p.24)

4.9.4 Cobertura vegetal

Su acción es muy importante en la formación de la estructura del suelo: a) produce residuos que son la fuente de energía para la actividad microbiana en la producción de polisacáridos y humus; b) el sistema radicular no solo contribuye a la cantidad de residuos, sino que influye en la formación de agregados; c) la cubierta vegetal protege la estabilidad de los agregados superficiales contra la acción destructora de la lluvia. (Rucks, et al, 2004, p.20)

4.9.5 Materia orgánica.

Valarezo, et al. (1998) menciona que “el contenido de materia orgánica influye sobre la forma de la curva de retención del agua, puesto que la materia orgánica refleja en el incremento de la capacidad total de retención de agua”. (p.45)

4.9.6 Pendiente del terreno.

Valarezo (citado por Villamagua, 2014) menciona que “la pendiente en la región sur de la Amazonia ecuatoriana fluctua entre 12 % a 60%”.(p. 2)

Marano (2014) sostiene que:

La pendiente influye en el tiempo de contacto entre el agua y la superficie del suelo. Cuando es abrupta, aumenta la velocidad y disminuye el tiempo de contacto. Para corregir este problema deben considerarse prácticas de cultivo (contorno, cobertura vegetal permanente, etc) y si no fuera suficiente recurrir a prácticas como terrazas de absorción y de drenaje, de acuerdo al régimen de lluvias. Este aspecto se menciona en el práctico correspondiente a erosión.(p. 2)

4.9.7 Profundidad del perfil.

Según Cornova y Novoa (citado por Conde y Delgado, 2015) expone que “la hoya amazónica fluctúa entre las alturas de 600 y 240 msnm, compuesta de conjunto de colinas de suelos rojos, poco profundos, arcillosos, compactados y muy lixiviados.” (p. 6)

4.9.8 Temperatura y grado de humedad del suelo.

Duque (2009) menciona que “las temperaturas bajas dificultan la infiltración, así como la tasa de infiltración, presentando inversamente proporcional a la humedad del suelo. Un suelo húmedo tiene una menor capacidad de infiltración que un suelo seco”. (p.12)

4.9.9 Acción de la precipitación sobre el suelo.

Duque (2009) menciona que:

La acción de la lluvia en el suelo puede modificar las características de éste. El choque de la precipitación hace que se compacte el suelo, así mismo la porosidad puede disminuir debido a que el agua trae consigo materiales muy finos, también afecta a la humedad de la superficie del suelo, saturando los horizontes más próximos a la misma, esto aumenta la resistencia a la penetración del agua y actúa sobre las sustancias coloidales. Una vez saturada la capacidad de retención de

agua en el suelo, se producen las escorrentías, por ente puede producirse la erosión del suelo, provocando efectos negativos sobre el ambiente. (p.12)

4.9.10 Compactación del suelo por sobrepastoreo bovino.

Toboada (2007) sostiene que:

Cuando el suelo está próximo a la sequedad, su capacidad portante es máxima, y de este modo, la probabilidad de que sufra daño estructural es mínima. En cambio, cuando el suelo está húmedo, su capacidad portante es menor, volviéndose propenso a sufrir compactación superficial. Esto no es otra cosa que la deformación superficial del suelo para soportar el peso del animal. Esta deformación se hace a expensas del espacio de macroporos.

Debido a ello, todo daño por compactación implica necesariamente la ocurrencia simultánea de: a) aumentos de densidad aparente, b) descensos de macroporosidad, c) aumentos de resistencia superficial, d) descensos de infiltración y conductividad hidráulica saturada. La acción mecánica de la pezuña animal causa la pulverización de los agregados del suelo, causando a menudo también pérdidas de estabilidad estructural. (p.5)

En la región amazónica la erosión se da por el agresivo crecimiento vegetal y la variedad de vida, que radican en la productividad del suelo. Este factor muy relativo, ha sido aprovechado por los intereses que tienen a una explotación en gran escala y sin cuidados de los recursos principalmente forestales, el complejo y frágil ecosistema que conforma la selva amazónica funciona en conjunto dentro de los ciclos cerrados y muy vulnerables. (Cordova y Novoa citado por Conde y Delgado, 2015, p.6)

4.10 Infiltración

Se denomina infiltración al pasaje del agua al suelo, a través de la superficie del mismo, antes de que se alcancen condiciones de saturación. Inicialmente la infiltración depende de la succión, que a su vez depende del contenido de humedad del suelo, mientras que el potencial de gravedad apenas influye. Esto explica que al comenzar el proceso de infiltración el valor de infiltración es alto, decreciendo más tarde cuando aumenta el contenido de humedad hasta alcanzar un valor casi constante. Por ello en suelos secos el agua se infiltra más rápidamente que en suelos húmedos. (Negro, 1998)

4.10.1 Taza de infiltración

La tasa de infiltración también denominada como capacidad de infiltración de un suelo, es la máxima cantidad de agua de lluvia que el mismo puede absorber en la unidad de tiempo y en condiciones previamente definidas. Precisamente, la relación entre la intensidad de la lluvia y la capacidad de infiltración es la que determina la cantidad de agua que penetra en el suelo y la que por escorrentía directa alimenta los cauces de las corrientes superficiales. (Duque, 2009 p.10)

4.10.2 Velocidad de infiltración.

Duque (2009) comenta que “la velocidad de penetración se hace cada vez más rápida, cuando el suelo no está humedecido, pero si el aporte de agua es permanente llega un momento en que la velocidad es constante, a ésta se la denomina velocidad de infiltración”. (p. 10)

“Es una propiedad hidrofísica muy importante del suelo y representa un fenómeno complejo mediante el cual se puede explicar tanto el ingreso del agua en el suelo y su correspondiente movimiento, así como la retención en su interior”. (Guerrero, 1998)

Tabla 4.- Conductividad hidráulica y valores asociados de permeabilidad.

CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA		PERMEABILIDAD	
cm/hora		m/día	
<0,1	<0,03	Muy lenta	
0,1 – 0,5	0,03 – 0,12	Lenta	
0,5 – 1,6	0,12 – 0,38	Moderadamente Lenta	
1,6 – 5,0	0,38 – 1,2	Moderada	
5,0 – 12,0	1,2 – 2,9	Moderadamente Rápida	
12,0 – 18,0	2,9 – 4,3	Rápida	
>18	>4,3	Muy rápida	

Fuente: Soil Survey Staff, 1981.

La infiltración disminuye gradualmente con el tiempo. Es máxima al comenzar el proceso, particularmente si el suelo está seco, y tiende luego progresivamente hacia un valor mínimo, el cual se conoce como Infiltración Básica. En la primera etapa el aporte de agua a la superficie es menos rápido que la intensidad del suelo para absorberla; en la segunda etapa las condiciones físicas del suelo limitan gradualmente la velocidad de penetración hasta aproximarse a la conductividad hidráulica a saturación (IGAC, citado por Cely 2010, p.18)

4.10.3 Método doble anillo para la medición de la velocidad de infiltración.

El infiltrómetro de doble anillo además de proporcionarnos la tasa de infiltración se lo puede utilizar para: determinar los coeficientes de erosión de los suelos, evaluación de determinados terrenos para la eliminación de desechos de pozos sépticos, modelos de irrigación y pluviosidad, eficacia de disolución y drenaje. Además esta prueba es utilizada ampliamente y desde hace mucho tiempo en la ingeniería, para calcular sistemas de riego, determinar aportes al agua subterránea, regular infiltraciones en canales, lagunas artificiales y reservorios, medir la percolación en rellenos sanitarios, probar la efectividad de capas impermeables en obras de retención de líquidos, entre otras aplicaciones; debido

a que según otros autores este ensayo les permite determinar la conductividad hidráulica saturada. (Duque ,2009 p.14)

4.11 Curva de Retención del Agua.

La curva de retención del agua de cada suelo se caracteriza por tener una relación diferente entre el contenido de agua y el trabajo necesario para extraer un pequeño incremento de agua. El gráfico que representa la relación entre la carga de presión negativa y el contenido de humedad, se lo conoce con el nombre de curva de retención de agua del suelo o curva característica de la humedad del suelo. Debido a que la energía (trabajo) necesaria para extraer el agua del suelo aumenta exponencialmente, mientras que el contenido de agua disminuye linealmente, para facilidad en la graficación e interpretación se prefiere utilizar el logaritmo de la tensión de humedad del suelo expresado en función de cm de una columna de agua, que se conoce con el nombre de pF (p = potencial, F = energía libre). Así, $1 \text{ atm} = 1 \text{ bar} = 1000 \text{ cm de agua}$; $pF = 3$. El gráfico resultante se denomina curva del pF.

En general el contenido de agua del suelo y el potencial matricio, ambos varían ampliamente en el espacio y en el tiempo, conforme el suelo es humedecido por la lluvia o riego, drenado por gravedad o secado por evaporación y extracción por las raíces. (Valarezo, et al. 1998 pp. 43-44)

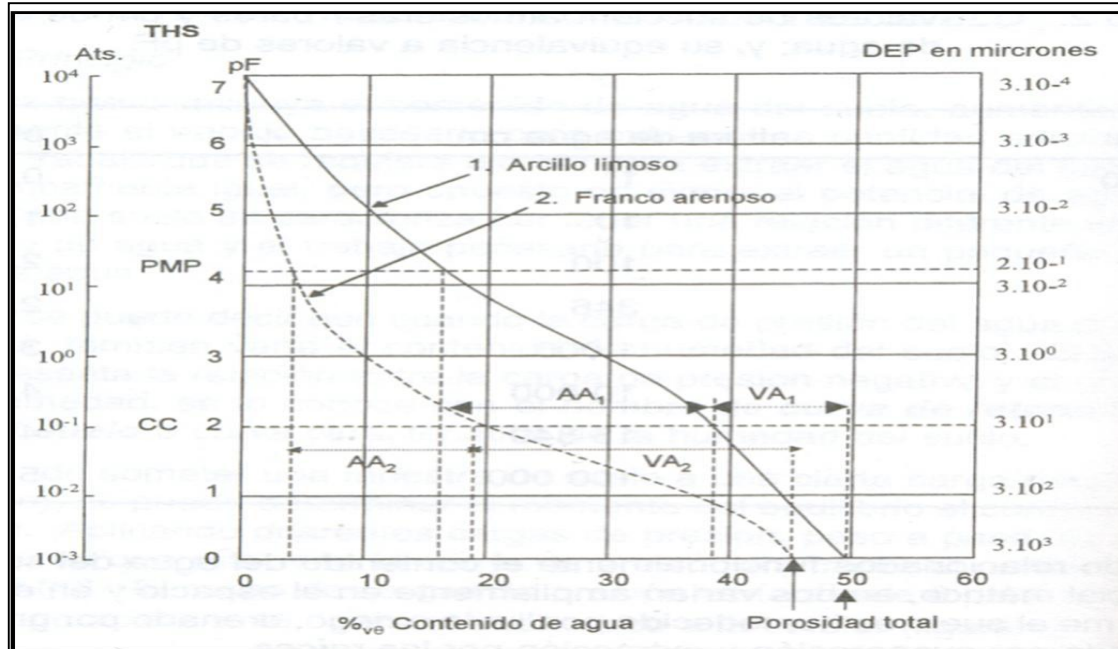


Figura. 1.- Curva de retención de agua

Fuente: Valarezo, et al., 1998.

4.11.1 Puntos importantes de Curva de retención de agua.

Los puntos más importantes de la curva de pF se representan en la Tabla 5.

Tabla 5.- Valores pF, su equivalencia en atm, y los puntos más importantes.

pF	Atm	Puntos
4.40	±28,80	Agua higroscópica
4.20	15.00	Punto de Marchitez Permanente
2.52	0.3	Capacidad de campo (CC)
2.00	0.1	
0.00	0.001	Saturación

Fuente: Valarezo, et al 1998.

Para determinar la curva pF, se necesita conocer los siguientes conceptos.

4.11.1.1 Densidad Aparente.

Valarezo et, al. (1998) menciona que “es la relación entre la masa del suelo seco y su volumen total (conjuntamente sólidos y poros). Los suelos vírgenes o no cultivados varían entre 1.0 y 1.6 g/cm³ mientras que en los suelos arenosos la Da, puede llegar a 1.6 g/cm³, como en los suelos francos arcillosos pueden ser de 1.1 g/cm³”. (p. 25)

4.11.1.2 Capacidad de aireación (Ca)

Los poros del suelo que están ocupados por aire a capacidad de campo, constituyen la porosidad de aireación, que es importante para la difusión de oxígeno hacia las raíces. Cuando un suelo tiene menos del 10 al 12 % de espacio poroso, la renovación del oxígeno es extremadamente lenta y la mayoría de las plantas se ven afectadas, pero si la porosidad (capacidad) de aireación es mayor a 15 %, la aireación es satisfactoria para el crecimiento de las plantas. Desde este punto de vista del drenaje, esta porosidad corresponde al espacio poroso drenable también llamado porosidad efectiva. En todo caso, representa a los poros del suelo que tiene un diámetro equivalente (DEP) mayor a 30 micras. Se obtiene de la diferencia del contenido de humedad a saturación y el contenido de humedad a capacidad de campo. (Valarezo et al., 1998 p. 48)

4.11.1.3 Saturación del suelo (θ_{sat})

Se refiere al contenido de humedad del suelo cuando está saturada, en esta condición la porosidad se encuentra ocupada por el agua; la porosidad total del suelo es igual al contenido de humedad en términos de volumen para el punto de saturación, siendo la máxima capacidad de retención de humedad, y se encuentra retenida a una tensión de 00 Kpa o (pF = 0). (Valarezo et al., 1998)

Es la condición en la cual el 100% de los poros están ocupados por agua. Es desfavorable para los cultivos (exceptuando al arroz). En un suelo bien drenado esta condición es de corta duración debido a que los macro- poros drenan rápidamente, ya que no pueden retener al agua con suficiente fuerza como para oponerse a la fuerza de la gravedad. Capas compactadas, lluvias torrenciales e inundaciones suelen impedir el libre drenaje del suelo y mantenerlo en estado de saturación. (Castro,1998)

4.11.1.4 Capacidad de campo (θ_{cc})

Cely (2010) menciona que:

Es el contenido de humedad de un suelo profundo, permeable y con buen drenaje, dos o tres días después de un riego pesado o lluvia abundante. Un suelo está en capacidad de campo cuando existe agua retenida capilarmente en meso y microporos, es decir: después de haber drenado el agua gravitacional a través de macroporos. A nivel de campo esta condición semeja un suelo húmedo el cual permitirá labores de mecanización y aseguraría un adecuado suministro de agua para las plantas. En el laboratorio la capacidad de campo se considera al agua retenida en el suelo después de saturar una muestra y someter a una presión de 0,1 atmósferas o bares (10 kpa) para suelos arenosos (textura gruesa), 0,3 atmósferas o bares (30 kpa) para suelos francos (texturas medias) y 0,5 atmósferas o bares (50 kpa) para suelos arcillosos (texturas finas). (p.21)

4.11.1.5 Punto de marchitez permanente (PMP)

“Es el contenido mínimo de humedad del suelo, al que la planta se marchita en forma irreversible ya no puede absorber agua con facilidad, causando deficiencia hídrica y no recupera su turbidez. Se encuentra retenida a una fuerza de succión de 1500 Kpa o (pF = 4,2)”. (Leitón, citado por Gallegos, 2015 p.39)

Punto de Marchitez Permanente se define como el límite de humedad por debajo del cual las plantas no pueden extraer agua del suelo para sus funciones y comienzan a mostrar síntomas de marchitez temporal o permanente. En el campo esta condición semeja un suelo muy seco en donde las plantas comienzan a mostrar síntomas de agobiamiento o marchitez permanente, es decir: aunque se les aplique posteriormente agua, no se recuperan. En el laboratorio, el punto de marchitez permanente se obtiene cuando después de saturar una muestra de suelo se somete a una presión de 15 atmósferas o bares (1500kpa). (Cely , 2010 p. 21)

4.11.1.6 Agua útil o agua aprovechable (AA)

“Es la cantidad de agua almacenada por el suelo después de un periodo de lluvias o de riego, y se encuentra entre el límite de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. En esta situación es muy favorable para las plantas, ya que es fácil la absorción radicular, realizando poca energía para extraer el agua del suelo”. (Valverde , 2007 p.224)

4.11.1.7 Volumen físicamente inerte del suelo (VFI)

Es igual al volumen de sólidos más el volumen inútil de los poros, este volumen corresponde al valor de contenido volumétrico de agua a punto de marchitez permanente (θ_{PMP}), comprende a aquellos poros menores de a 0,2 micras, que no proveen ni aire ni agua a las raíces (Valarezo et al., 1998).

Valarezo et, al. (1998) sostienen que:

La información de la curva de retención de agua es de fundamental importancia que se lo puede utilizar para formular los siguientes proyectos (Diseño de proyectos de riego y drenaje, manejo y conservación de suelos y aguas, operación

de riego, evaluación de los cambios de la porosidad total y de los rangos de los tamaños de los poros, para dar opciones de manejo. (p. 46)

4.11.2 Evaluación de las condiciones físicas del suelo.

Valarezo et al. (1998) señala que:

La distribución de los volúmenes de las tres fases del suelo (sólido, líquida y gaseosa) a capacidad de campo sirve para estimar las condiciones físicas del suelo en relación con el crecimiento de las plantas. Para tal efecto se utiliza el diagrama triangular, en base a este se encuentra los valores porcentuales del volumen de capacidad de aireación, cuyos poros tienen un diámetro mayor a 30 micras. En el lado derecho del triángulo se encuentran los valores porcentuales del agua aprovechable con un diámetro equivalente de poros de 0,2 a 30 micras, considerando como capacidad de campo el contenido de agua retenido a pF 2,0. El lado izquierdo del triángulo contiene los valores porcentuales del volumen físicamente inerte del suelo, que es igual al volumen de sólido más el volumen útil de poros. (p.50)

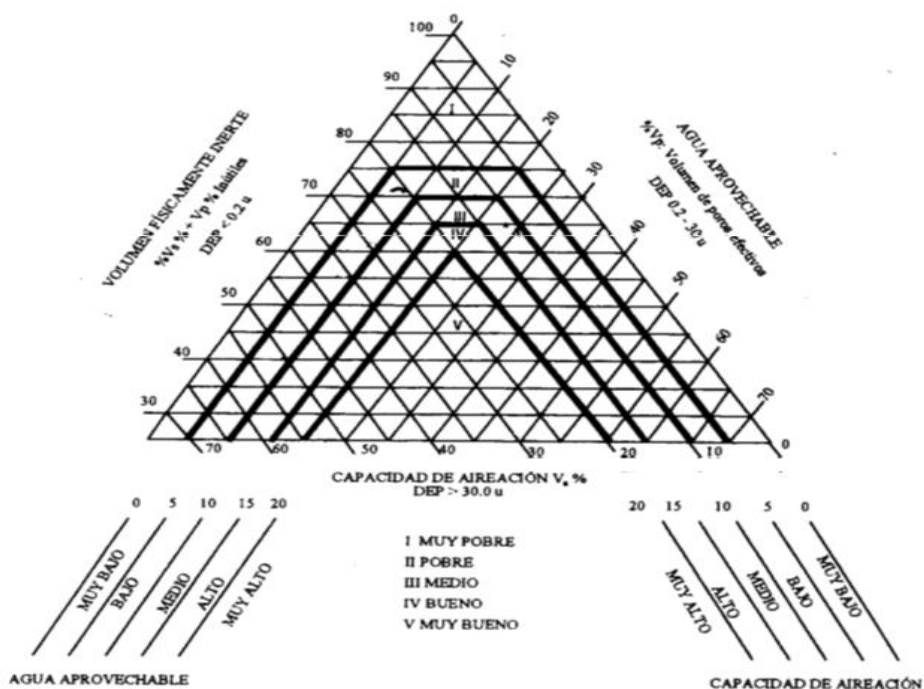


Figura. 2.- Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo

Fuente: Tomado de ILACO, B.V. 1981, citado por Valarezo et al. 1998

4.12 Estudios relacionados con el tema.

Según Naula (citado por Morocho et,al. 2010) menciona que:

En una investigación realizada en el sector Masaca en la hoya de Loja, se probaron los siguientes sustratos con carbón vegetal (CV) en granulometría 4,5 mm: S0 = 0,0 kg/m² CV + 6% bocashi, S1 = 1,0 kg/m² CV + 6% bocashi, S2 = 1.5 kg/m² + 6% bocashi y S3 = 2 kg/m² CV + 6%34bocashi. En este estudio la capacidad de aireación del suelo inicial 10% (Bajo), pasó a Alto 16%, en los tratamientos S1 y S2, y, a Muy Alto 35% y 31% en S2 y S3 respectivamente. Sin embargo por efecto del abono orgánico y carbón vegetal las condiciones físicas del suelo mejoraron de Pobre a Bueno.(p.34)

Cueva (citado por Morocho et, al. 2010) sostiene que:

Utilizó bocashi en una cantidad de 0.97kg/m², combinada con diferentes dosis de carbón vegetal para mejorar las propiedades físicas y químicas de los sustratos en la productividad de pimiento, cuyos tratamientos fueron: T1=0kg/m²; T2=1.5 kg/m²; T3=2.0 Kg/m²; T4=2.5 Kg/m² de carbón vegetal. La capacidad de aireación 6,4% (Bajo) del suelo inicial, pasó a Muy Alto 25,4 % en el tratamiento T3, y a Alto 18.0%, 18.4 %, 16.6 % en T1, T2 y T4 respectivamente. Los rendimientos obtenidos fueron: en T1, T2, T3 con 0.80, 0.85, y 0.90 kg/planta respectivamente, siendo estadísticamente iguales, mientras que T4 obtuvo 1.37 kg/planta, logrando frente al testigo un incremento de la productividad del 70.25 %.(p.34)

Pinzón y Amezcuita (citado por Noguera y Velez, 2011) sostienen que:

Evaluaron los cambios de las propiedades del suelo, como resultado de la compactación por el pisoteo de animales en pasturas del piedemonte de Caquetá (Colombia), los datos mostraron que los animales en pastoreo modifican substancialmente las propiedades físicas de estos suelos, causando grado de compactación mayor en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en la porosidad, que afecta el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad. (p.3)

Villanueva y Ibrahim (citado por Noguera y Velez, 2011) sostienen que:

Evaluó el impacto de los sistemas silvopastoriles *Alnus acuminata* *Pennisetum clandestinum*, sobre la recuperación de suelos de pasturas degradadas en Costa Rica, encontrando que los sistemas silvopastoriles, mejoran la fertilidad del suelo conforme aumenta la edad de los árboles, efecto observado en los niveles decrecientes de densidad aparente y resistencia a la penetración, en comparación a las pasturas en monocultivos que arrojaron valores altos para densidad aparente (1.6 Mg/m³) y para resistencia a la penetración (3.2 Mpa). (p.3)

Según Aguirre y Ordóñez (citado por Noguera y Velez, 2011) sostienen que:

En la investigación dinámica y movimiento del agua en suelos con diferentes usos en sistemas productivos del altiplano de Pasto – departamento de Nariño encontraron, que los mayores niveles en conductividad hidráulica se presentaron en aquellos tratamientos que mostraron aportes de materia orgánica, la cual contribuye a la estabilidad estructural, un aumento en la macroporosidad, y en general mejora las condiciones físicas del suelo.(p.3)

CATIE (citado por Noguera y Velez, 2011) sostiene que:

Reporta que la implementación de sistemas silvopastoriles como los bancos forrajeros, la incrementación de árboles dispersos y cercas vivas, es una alternativa para la recuperación de pasturas en estado de degradación. Respecto a lo anterior se puede inferir que los sistemas silvopastoriles (*S.pistacifolia*) – pastura (*P. clandestinum*), campanillo (*D. integrifolium*) – pastura (*P.clandestinum*), contribuyen con la fertilidad de estos suelos, al mejorar las entradas y salidas de nutrientes, como los estiércoles depositado por los animales, que ayudan a modificar las propiedades físicas, de esta manera estas especies se convierten en un soporte para disminuir la degradación de los suelos y los pastizales. (p.11)

4.13 Marco Legal.

4.13.1 Constitución de la República del Ecuador.

En la constitución política del Ecuador se ha tomado como base legal los siguientes artículos:

Art. 14.- La población tiene que coexistir en un ambiente sano, es decir en un ecosistema equilibrado, de esta manera se garantiza la sostenibilidad y el buen vivir, denominado *sumak kawsay*. Así mismo es de interés público el manejo y la conservación del medio ambiente y su integridad, de esta manera evitar el daño al ambiente y a la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, la aplicación de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas que no contaminan, generando un bajo impacto al ambiente. La soberanía energética no afectará a la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. De igual manera se prohíbe el uso de cualquier tipo de tecnología o producción inadecuada que atenten con la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado deberá establecer mecanismos de remediación más eficaces para la restauración, y establecerá las medidas adecuadas para eliminar o mitigar los impactos nocivos al ambiente.

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

Art. 410.- El Estado brindará ayuda a los agricultores y a las comunidades rurales programas de conservación y restauración de los suelos, así como técnicas para el desarrollo de prácticas agroecológicas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria. (pp. 135, 181).

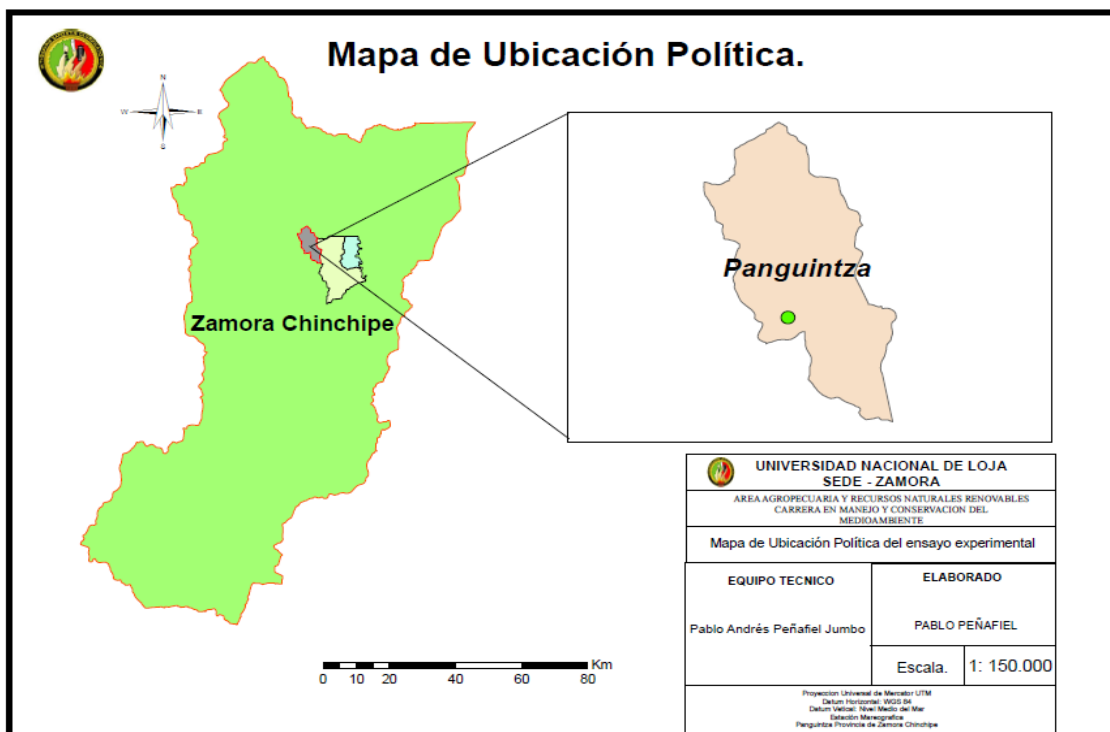
5 MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Características Generales

5.1.1 Ubicación Política y Geográfica

La ubicación del experimento se encuentra ubicado en la finca “Los Zapotes” de propiedad del señor Héctor Ochoa, en la parroquia Panguintza, perteneciente al cantón Centinela de Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe. Las coordenadas UTM del sitio experimental son 9568110 N, y 0741799 E y una altitud de 970 a 993 msnm.

Mapa 1. *Ubicación Política del ensayo experimental.*



5.1.2 Suelo.

El Instituto Ecuatoriano de Minería (citado por Conde y Delgado, 2015) afirma que “geológicamente se asienta en el gran Batolito de Zamora con alrededor de 1800 Km² que presenta en forma de un cuerpo alargado en dirección NNE-SSW, compuesto de leuco granodioritas y granodioritas horblendicas, sin clastos (piedras) en la superficie”.
(p.27)

El suelo es de orden de los Ultisoles clasificados como Rhodic Kandudults, caracterizado con una textura de franco a franco arcilloso al tacto, prodenominando el color rojiza. Estos suelos son muy profundos, fuertemente ácidos, con un importante presencia de aluminio intercambiable y con posible predominio de caolinita en la fracción coloidal mineral, lo cual guarda correspondencia con la edad del material parental y el clima de la zona. (Conde y Delgado, 2015, p. 26)

5.1.3 Clima.

Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI):

En el periodo de 1981 a 2010, la estación meteorológica Yantzaza que se encuentra a una altitud de 830 msnm, arroja los siguientes datos.- la temperatura media anual fue de 23.2°C, la precipitación media anual de 1651 a 2093.7mm y la evotranspiración potencial fue de 111 a 121 mm.

5.1.4 Zonas de Vida.

Matamoros (2007) menciona que:

La Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) contiene una importante variedad de ecosistemas, en especial su bosque lluvioso tropical es considerado uno de los

hábitats vegetales y animales más ricos y complejos del mundo. En la selva del alto amazonas se ha identificado una variada diversidad de especies, los ríos, lagos, corrientes y pantanos de la Amazonía son el hogar de 600 especies de peces y más de 250 especies de anfibios y reptiles. En la Región Amazónica ecuatoriana viven mamíferos típicos de Sudamérica, entre los cuales se hallan armadillos, osos melíferos y perezosos. La Región Amazónica alberga aproximadamente el 80% de la biodiversidad del país, es la principal fuente de agua dulce, conteniendo la mayor masa boscosa del país. (p. 3)

5.2 Materiales.

5.2.1 Materiales de campo

- Cilindro doble anillo.
- Cilindros Kopecky, (marca Eijkelkamp).
- Sistema de Posicionamiento Global (GPS).
- Cinta métrica 20m.
- Machete.
- Marcadores permanentes.
- Guadaña.
- Formularios de campo.
- Cronometro.
- Combo.
- Recipientes plásticos.
- Libreta de apuntes.

5.2.2 Materiales de Oficina

- Computadora.
- Esferos gráficos.
- Impresora.

5.3 Métodos.

5.3.1 Diseño de la investigación.

Los factores que se estudiaron son los siguientes : la especie arbórea Melina (*Gmelina arborea*); dos niveles de la combinación de cal y fertilización, sin (0 t ha^{-1} cal + 0 kg ha^{-1} de nutrientes) y con (Cal (5 t ha^{-1}), N (200 kg ha^{-1}), P (150 kg ha^{-1}), K (200 kg ha^{-1}), Mg (118 kg ha^{-1}), S (229 kg ha^{-1}), Zn (40 kg ha^{-1})); y tres niveles de carbón vegetal (0 t ha^{-1} , 3 t ha^{-1} y 6 t ha^{-1}). El diseño experimental fue bifactorial (2×3), en bloques al azar con tres repeticiones. Los tratamientos implementados se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1.- Factores de estudio del experimento.

No. Tratamiento	Fertilización	Carbón vegetal t ha^{-1}
T7	Sin	0
T8	Con	0
T9	Sin	3
T10	Con	3
T11	Sin	6
T12	Con	6

5.3.1.1 Especificaciones del experimento

Número de repeticiones (bloques): 3

Número de plantas por subparcela de melina: 16

Área de la parcela: 24m x 36m = 864m²

Área de la sub parcela: 12 x 12 m: 144 m²

Área neta experimental: 5184 m²

5.3.1.2 Esquema general de ensayo experimental.

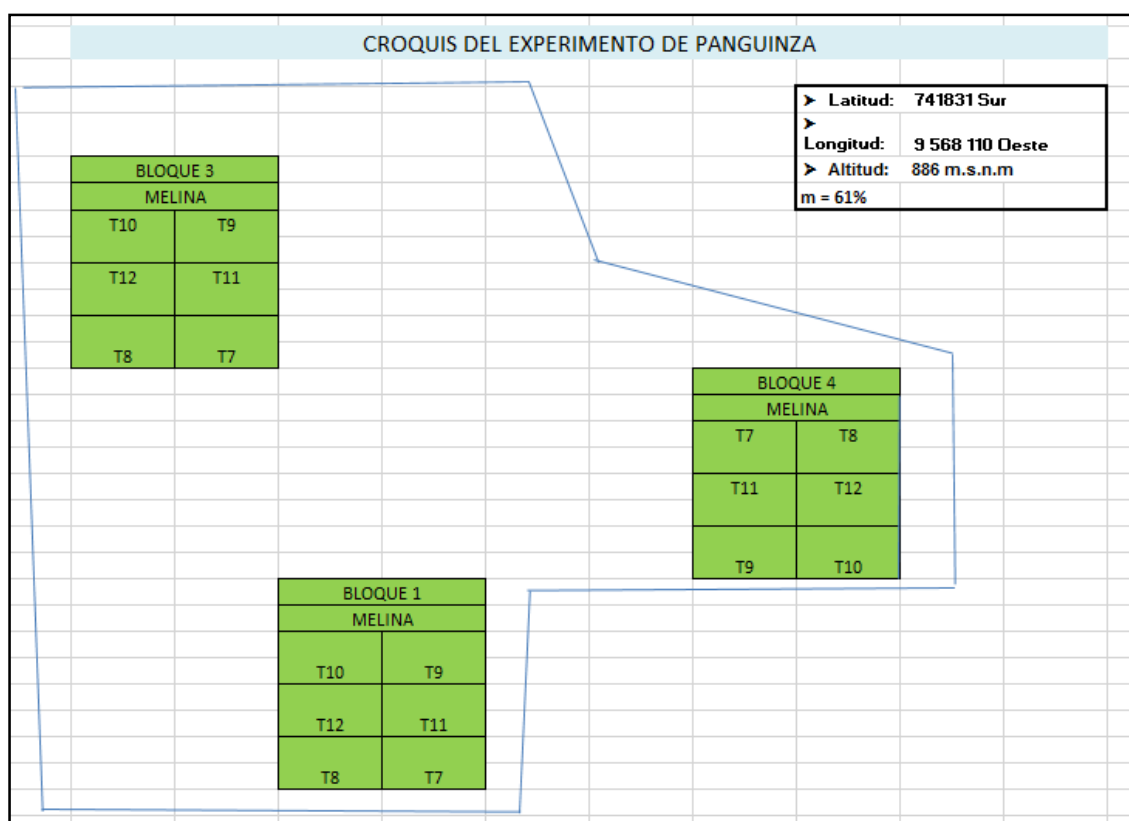


Figura. 3.- Esquema general del experimento Panguinza.

En la Figura 3 se muestran el esquema general de los bloques.

5.3.2 Metodología para el primer objetivo.

Determinar la evolución de la velocidad de infiltración del agua en el suelo, en la plantación maderable de Melina (*Gmelina arborea*) establecida en el experimento Panguintza.

5.3.2.1 Pruebas de infiltración en campo.

Las pruebas de infiltración se lo realizo en el tratamiento 7 de cada uno de los bloques del experimento Panguintza, las mismas que se las hizo mediante el método doble anillo.

1.- Limpieza del terreno.

Para la limpieza del sitio se ocupó motoguadañas y machete para desbrozar las malas hierbas que se encuentran en el lugar. Posteriormente los brotes o hijuelos de la especie forestal Melina se los cortó y se los ubicó en el mismo sitio.

2.- Colocación de los cilindros.

Los cilindros fueron ubicados en la parte céntrica del tratamiento 7 de cada uno de los bloques de estudio, es importante destacar que el sitio debe estar libre de fisuras, piedras, materia orgánica, madera u otros objetos que puedan alterar las pruebas de infiltración.

Los cilindros están compuestos de dos anillos (interior y exterior) de forma que el anillo interior de los tres cilindros se los marco cada 1 cm hasta una altura de 10 cm; esto permitió medir la atura del agua durante las pruebas de infiltración.

Con una cinta métrica se midió cada 2m de manera triangular el sitio donde se ubicaron los cilindros, posteriormente se retiró la materia orgánica, madera, piedras entre otros objetos que se encontraron en el lugar.



Fotografía 1.- *Medición de la distancia para la colocación de los cilindros.*

Al anillo exterior se lo coloco de manera vertical y con ayuda de una comba se lo procedió a enterrar hasta una profundidad de 15 cm, de igual manera se lo hizo con el anillo interior pero en este caso se lo enterró hasta la profundidad de 10 cm. Seguidamente con un nivel de construcción se verifico si el cilindro se encuentra aplomado. Cabe recalcar que los bordes del cilindro fueron protegidos mediante la colocación de un pedazo de madera.



Fotografía 2.- *Proceso de la colocación de los cilindros.*

3.- Vertido de agua en los cilindros.

Se procedió a verter agua directamente sobre el anillo exterior hasta una altura de 10 cm, de igual manera se lo realizo en el anillo interior. El nivel de agua en los cilindros se lo mantuvo a la misma altura durante todo el tiempo de evaluación.



Fotografía 3.- *Vertido de agua*

4.- Recolección de Datos.

El registro de la primera hora de lectura se la realizo en intervalos de 5 min, la segunda hora de lectura cada 10 min, la tercera hora de lectura se la efectuó cada 15 min y la cuarta hora de lectura a los 20 minutos (Anexo 1).

5.3.2.2 *Calculo de la infiltración básica.*

Los datos obtenidos en el campo se los proceso en una hoja electrónica.

Para el cálculo de la infiltración básica, se tomó el modelo de Kostiakov (1932) quien propone la siguiente ecuación.

$$I_{cum} = KT^n$$

Donde:

I = Velocidad de infiltración (cm/hora)

t = Tiempo acumulado de infiltración (minutos)

K = Parámetro que representa la velocidad de infiltración cuando el tiempo es 1 minuto.

N = Parámetro que indica la forma en que la velocidad de infiltración se reduce con el tiempo.

Se calcularon las velocidades de infiltración media e instantánea en cm/min para cada uno de los tiempos; así como, la velocidad de infiltración básica en cm/h, por regresión lineal.

5.3.2.3 Comparación de resultados.

Para determinar la evolución de la velocidad de infiltración básica se comparó con la velocidad de infiltración inicial ejecutada por el ingeniero Marconi Mora en el año de 2010.

5.3.2.4 Contraste de Hipótesis general.

La velocidad de infiltración de agua se incrementará en los lugares donde se ha instalado la especie forestal Melina (*Gmelina arborea*), por la eliminación del pisoteo del ganado bovino.

La hipótesis general se lo contrastara, mediante el análisis estadístico ADOVA.

5.3.3 Metodología para el segundo objetivo.

Conocer la evolución de la curva de retención del agua en el suelo, en el experimento Panguintza.

Se tomaron 2 muestras inalteradas en anillos kopeccky 100 cm³ en cada uno de los tratamientos siendo un total de 36 muestras a recolectar en el ensayo experimental.



Fotografía 4.- *Proceso para la toma de muestras inalteradas.*

5.3.3.1 Parámetros analizar en el laboratorio.

Se analizó la Capacidad de campo 1/10 y 1/3 atm, punto de marchitez permanente a 15 atmosferas, saturación y Da.

5.3.3.2 Calculo de la curva pF.

5.3.3.2.1 Densidad aparente o peso específico aparente.

La densidad aparente es la relación entre la masa del suelo seco y su volumen total.

Para cálculo de la Densidad Aparente se utilizó la siguiente formula.

$$\mathbf{Da = Ms/Vt = Ms / (Vs + Va + Vw)}$$

Donde.

Da: Densidad aparente (g/ cm³)

Ms: Masa de solidos (g)

Vt: Volumen total (cm³)

Vs: Volumen de sólidos (cm³)

Va: Volumen de aire (cm³)

Vw: Volumen de agua (cm³)

5.3.3.2.2 Porosidad.

Es el porcentaje del volumen que ocupan los huecos o espacios vacíos del suelo (llenos de aire o de agua) en relación con el volumen total.

Para cálculo de la porosidad total se aplicó la siguiente fórmula.

$$P_t = V_p / V_s$$

Donde:

P_t = Porosidad total (cm³/cm³)

V_p = Volumen de poros (cm³)

V_s = Volumen total de la muestra inalterada (cm³)

5.3.3.2.3 Agua Aprovechable.

$$AA = CC - PMP$$

Donde:

AA = Agua aprovechable (% Θ_v)

CC = Capacidad de campo (% Θ_v)

PMP = Punto de marchites permanente ($\% \Theta_v$)

5.3.3.2.4 Capacidad de aireación.

$$CA = Pt - CC$$

Donde:

CA = Capacidad de aireación ($\% \Theta_v$)

Pt = Porosidad total ($\% \Theta_v$)

CC = Capacidad de campo ($\% \Theta_v$)

5.3.3.2.5 Volumen Físicamente Inerte.

$$VFI = 100 - (VTP - PMP)$$

Donde:

VFI = Volumen de poros físicamente inerte ($\% \Theta_v$)

5.3.3.3 Evaluación de las condiciones físicas.

Con los resultados de la CA, AA y VPFI, se utilizó el diagrama triangular para la evaluación de las propiedades físicas de los suelos (Figura 2).

5.3.3.4 Procesamiento y análisis de datos.

Se utilizó el análisis estadístico de variancia (ADOVA), para determinar las variables estadísticamente significativas.

Este análisis se lo realizo de la siguiente forma.

1. Selección de la Hipotesis.
2. Selección de significancia.- para la presente prueba se aplico un 5% de significancia, con un nivel de confianza de 95%.
3. Calculo Estadístico de la Prueba. El cual se aplico las siguientes formulas.

$$\text{Suma de cuadrados total: } SSt = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{nc}$$

$$\text{Suma de cuadrados de tratamientos: } SST = \sum \frac{Tc^2}{nc} = \frac{(\sum x)^2}{n}$$

Suma de cuadrados de Error:

$$SCE = SSt - SST$$

Tabla 6.- Análisis estadístico ANOVA.

TABLA ANOVA				
FUENTE DE VARIACION	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media de Cuadrados	F
Tratamientos	SST	k-1	SST/(k-1)=MST	MST/MSE
Error	SSE	n-k	SSE/(n-k)=MSE	
Total	SS Total	n-1		

6 RESULTADOS

6.1 Resultado del objetivo 1

Determinar la evolución de la velocidad de infiltración del agua en el suelo, en la plantación maderable de Melina (*Gmelina arborea*) establecida en el experimento Panguintza.

6.1.1 Determinación de la velocidad de infiltración básica, bloque 1.

Para la determinación de la velocidad de infiltración se realizó tres pruebas, en cada uno de los bloques, posterior a ello se sacó un promedio de las tres pruebas logrando obtener un solo valor en taza de infiltración acumulada.

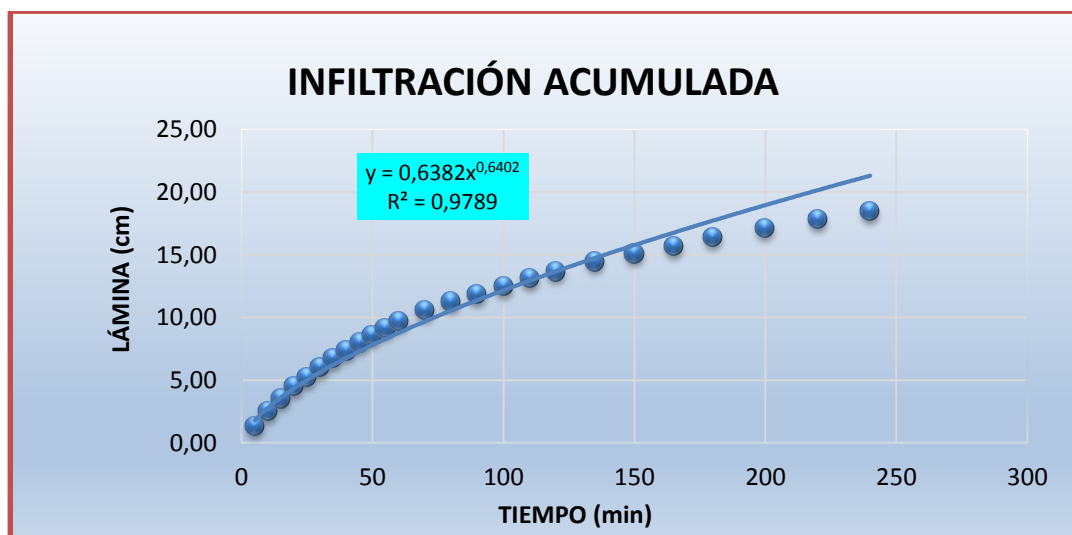


Figura. 4.-Infiltración Acumulada bloque 1.

Existe una correlación 0.9789 categorizada como muy alta entre el tiempo de infiltración y la lámina de agua. A mayor tiempo mayor volumen de infiltración.

El tiempo básico de infiltración es de 215.88min, que genera una infiltración básica de 3,54 cm/h.

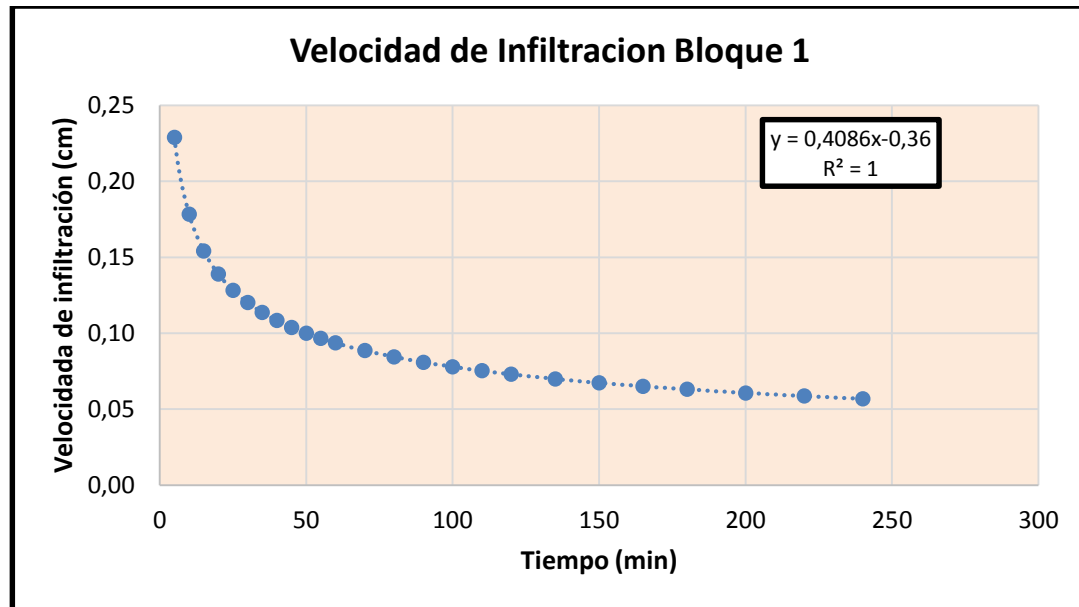


Figura. 5.- Velocidad de infiltración bloque 1.

Existe una correlación perfecta entre el tiempo y velocidad de infiltración. Obteniendo en 5 minutos de evaluación una velocidad de infiltración de 0.23 cm³, mientras va aumentando el tiempo, la velocidad va decayendo. En el tiempo de evaluación de 240 minutos, la velocidad de infiltración fue de 0.06 cm³. Conforme se incrementa el tiempo, la velocidad de infiltración se anula.

6.1.2 Determinación de la velocidad de infiltración básica, bloque 3.

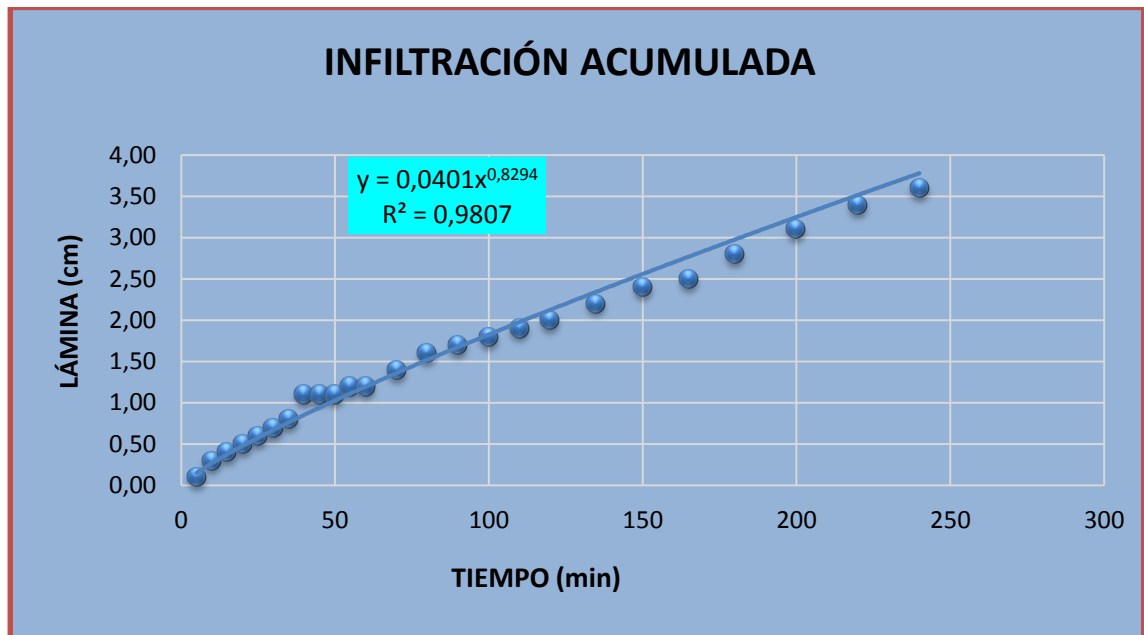


Figura. 6.- Infiltración Acumulada bloque 3.

Existe una correlación 0.9807 categorizada como muy alta entre el tiempo de infiltración y la lámina de agua. A mayor tiempo mayor volumen de infiltración.

El tiempo básico de infiltración es de 102.36 min, que genera una infiltración básica de 0.906 cm/h.

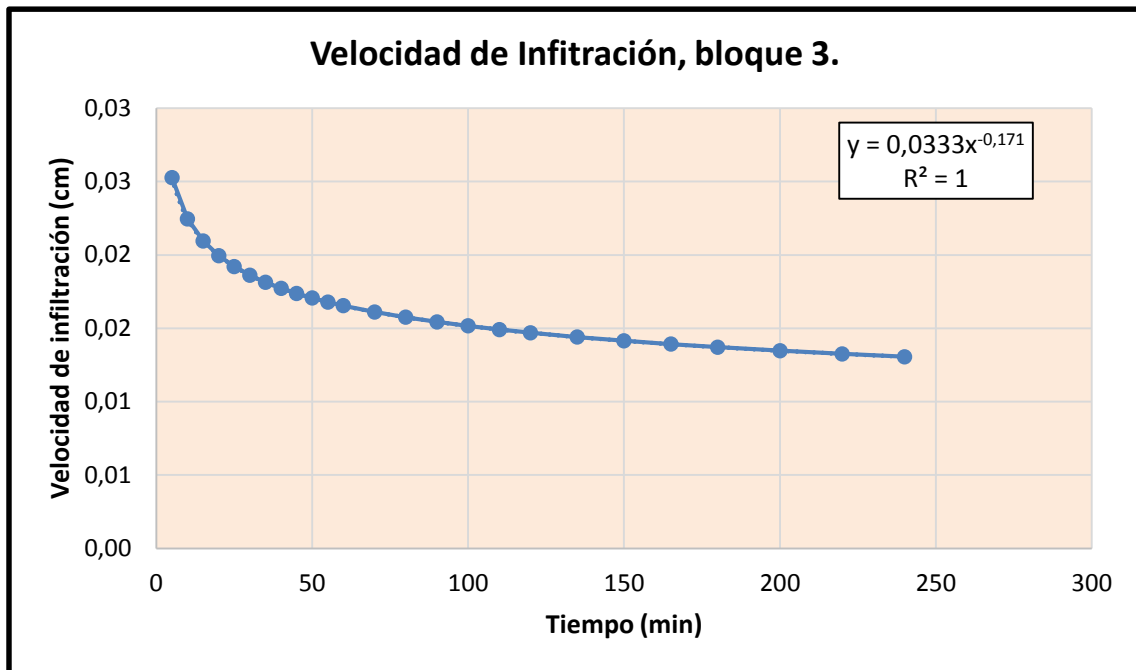


Figura. 7.- Velocidad de infiltración, bloque 3.

Existe una correlación perfecta entre el tiempo y velocidad de infiltración. Obteniendo en 5 minutos de evaluación una velocidad de infiltración de 0.03 cm^3 , mientras va aumentando el tiempo, la velocidad va decayendo. En el tiempo de evaluación de 240 min, la velocidad de infiltración fue de 0.01 cm^3 . Conforme se incrementa el tiempo, la velocidad de infiltración se anula.

6.1.3 Determinación de la velocidad de infiltración básica bloque 4.

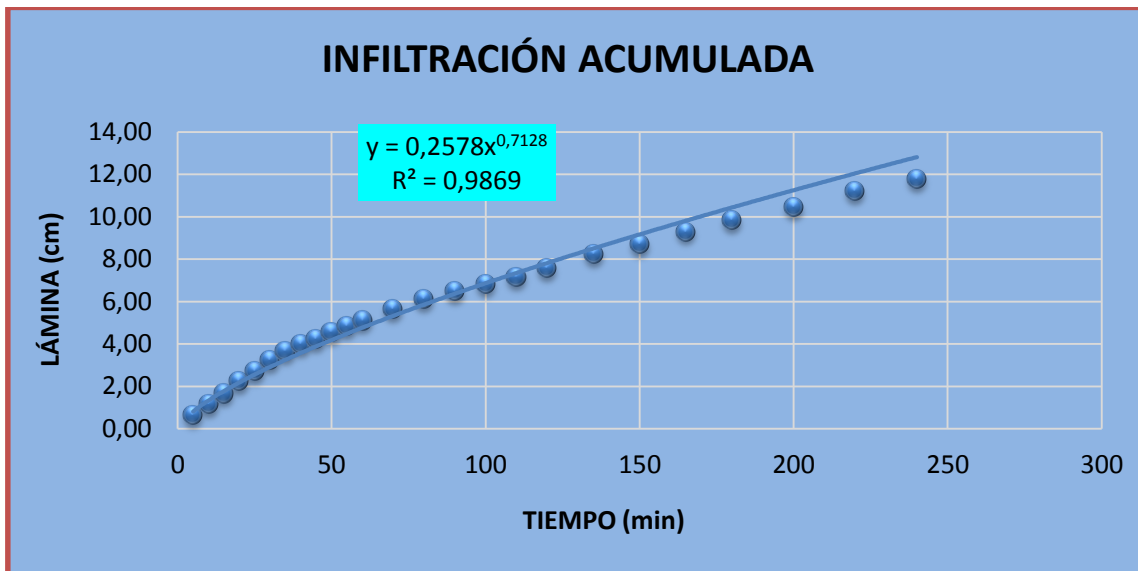


Figura. 8.- Infiltración Acumulada, bloque 4.

Existe una correlación 0.9869 categorizada como muy alta entre el tiempo de infiltración y la lámina de agua. A mayor tiempo mayor volumen de infiltración.

El tiempo básico de infiltración es de 172.32 min, que genera una infiltración básica de 2,51 cm/h.

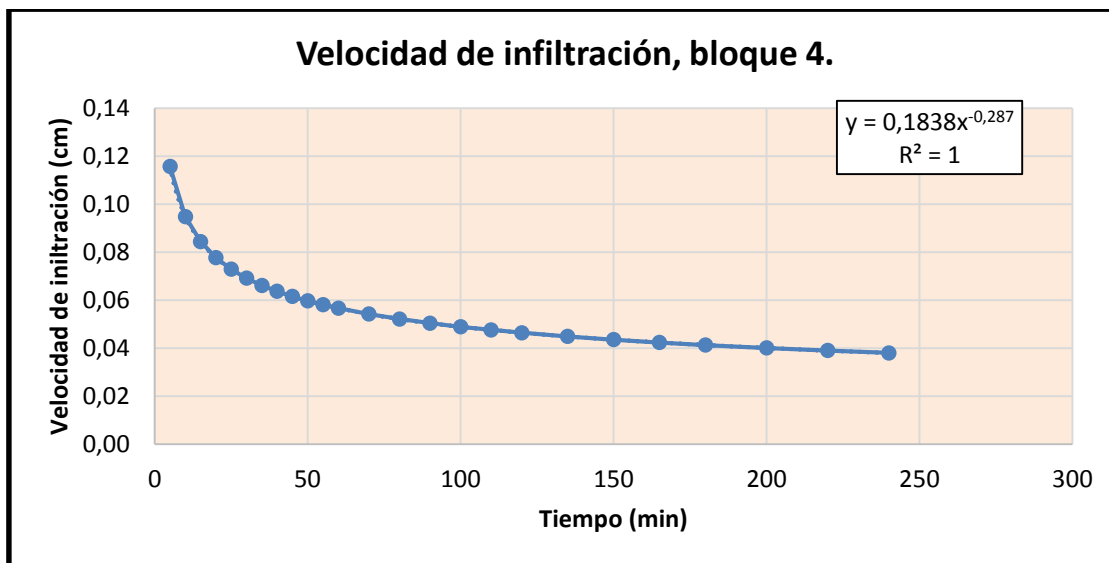


Figura. 9.- Velocidad de Infiltración, bloque 4.

Existe una correlación perfecta entre el tiempo y velocidad de infiltración. Obteniendo en 5 minutos de evaluación una velocidad de infiltración de 0.116 cm^3 , mientras va aumentando el tiempo, la velocidad va decayendo. En el tiempo de evaluación de 240 min, la velocidad de infiltración fue de 0.038 cm^3 . Conforme se incrementa el tiempo, la velocidad de infiltración se anula.

6.1.4 Determinación de la velocidad de infiltración básica promedio del ensayo Panguintza.

Para la determinación de la velocidad de infiltración promedio del ensayo Panguintza se promedió los tres bloques obteniendo los siguientes datos.

Cuadro 2.- Velocidad de infiltración básica en los bloques del sitio experimental Panguintza, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe. Agosto 2016.

Bloque	Promedio	Calificación
I	3.54	Moderada.
III	0.90	Moderadamente lenta
IV	2.51	Moderada
promedio	2.32	Moderada

En el Cuadro 2, se muestran los valores promedios de la velocidad de infiltración básica que van desde 0.90 cm/h considerada como moderadamente lenta a 3.54 cm/h considerada como moderada.

En la figura 10, se muestra el potencial de infiltración acumulada del ensayo Panguintza.

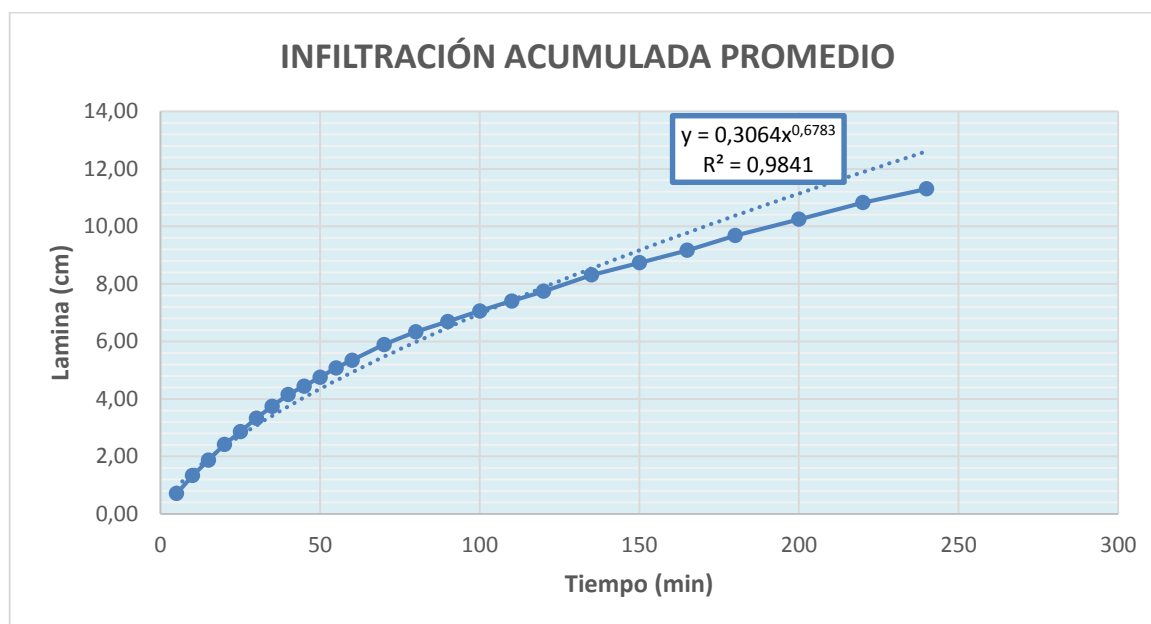


Figura. 10.- Infiltración Acumulada promedio, ensayo Panguintza.

Existe una correlación 0.9841 categorizada como muy alta entre el tiempo de infiltración y la lámina de agua. A mayor tiempo mayor volumen de infiltración.

El tiempo básico de infiltración es de 193.02 min, que genera una infiltración básica de 2.32 cm/h.

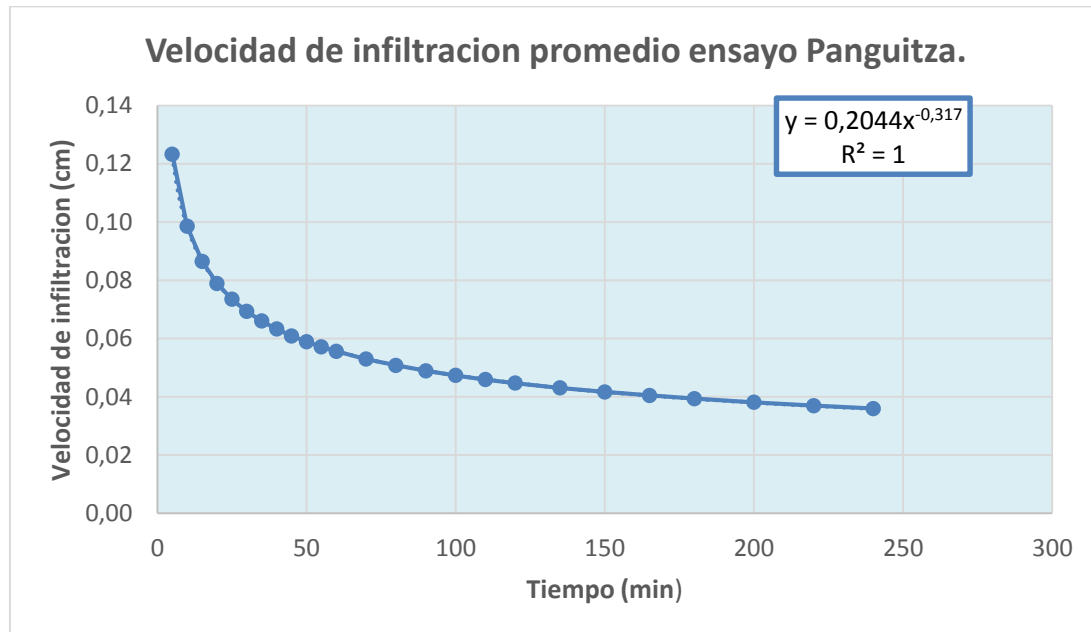


Figura. 11.- Velocidad de infiltración promedio, ensayo Panguitza.

Existe una correlación perfecta entre el tiempo y velocidad de infiltración. Obteniendo a los 5 minutos de evaluación una velocidad de infiltración de 0.12 cm³/min, mientras va aumentando el tiempo la velocidad va decayendo. En el tiempo de evaluación de 240 minutos la velocidad de infiltración fue de 0.04 cm³/min.

6.1.5 Velocidad de infiltración básica inicial del ensayo Panguintza.

Cuadro 3.- Velocidad de infiltración básica (Mora, 2010)

Bloque	Promedio	Calificación
I	1.10	Mod. Lenta
II	0.31	Lenta
III	0.7	Mod. Lenta
IV	0.003	Muy lenta
promedio	0.528	Mod. Lenta.

En el Cuadro 3, se muestran los valores promedios de la velocidad de infiltración básica que van desde 0.003 cm/h considerada como muy lenta a 1.10 cm/h considerada como moderadamente lenta.

6.1.6 Técnica de procesamiento y análisis de la hipótesis.

6.1.6.1 Planteamiento de Hipótesis general.

La velocidad de infiltración de agua se incrementará en los lugares donde se ha instalado la especie forestal Melina (*Gmelina arborea*), por la eliminación del pisoteo del ganado bovino.

6.1.6.1.1 Contraste de hipótesis.

Ho: No ha existido mejora en la velocidad de infiltración durante el tiempo de implantación de la especie forestal Melina.

H1: Ha existido mejora en la velocidad de infiltración durante el tiempo de implantación de la especie forestal Melina.

Cuadro 4.- Resumen ANOVA, evolución de la velocidad de infiltración.

<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
V. final.	20	1,27	0,06	0,00
V. inici.	20	0,37	0,02	0,00

Cuadro 5.- ANOVA, evolución de la velocidad de infiltración

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Prob.</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Velocidad infil.	0,020	1	0,020	80,63	6E-11	4,0982
Error	0,009	38	0,000			
Total	0,030	39				

En el Cuadro 4 y 5, se muestra el análisis de varianza estadístico ANOVA, donde se obtuvo que la probabilidad es de 0.00 siendo menor que la significancia que es de 0.05 entonces se ubica en la zona de aceptación de la hipótesis alterna. Se rechaza la nula y se acepta la alterna.

Ha existido mejora en la velocidad de infiltración durante el tiempo de implantación de la especie forestal Melina.

6.2 Resultado del objetivo 2.

6.2.1 Curva de retención de agua promedio, ensayo Panguintza.

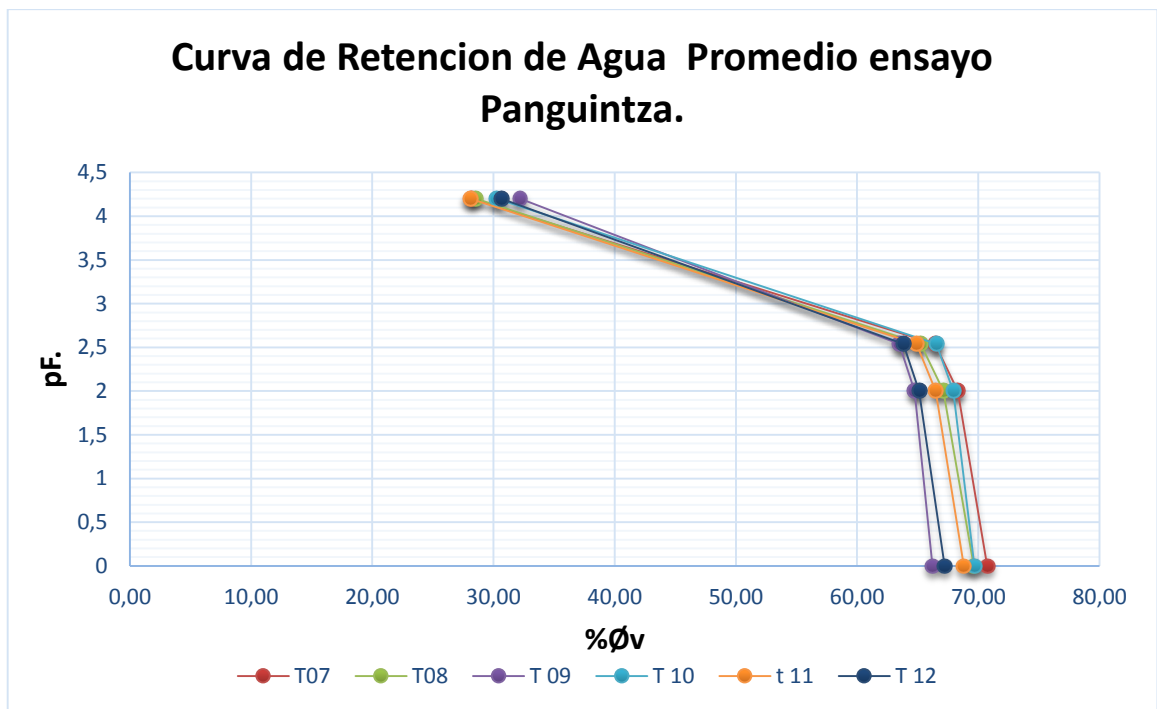


Figura. 12.-Curva de Retención de agua promedio, ensayo Panguintza.

En la figura 12, se presenta la retención de agua en el suelo y en el Cuadro 6, se muestran los valores que se consideró para la construcción de la curva y representación de la condiciones físicas del suelo; las cuales corresponde al análisis de muestras inalteradas, tomadas a 20 cm; el uso actual del suelo: experimento Panguintza.

Cuadro 6.- Evaluación de las condiciones físicas, ensayo Panguintza.

	Satu.	C.C 1/10	C.C 1/3	PMP	C.A 1/10	C.A 1/3	E.	A.A 1/10	A.A 1/3	E.	VTS	VTP	VFI	E.	Da.
	%														g/cm ³
T 07	70,74	68,30	66,44	28,19	2,44	4,30	Muy bajo	40,11	38,25	Muy alto	29,26	70,74	57,45	Muy pobre	0.89
T 08	69,62	67,13	65,24	28,56	2,50	4,38	Muy bajo	38,57	36,69	Muy alto	30,38	69,62	58,93	Muy pobre	0.93
T 09	66,23	64,74	63,47	32,19	1,48	2,75	Muy bajo	32,56	31,29	Muy alto	33,77	66,23	65,96	Muy pobre	1.02
T 10	69,69	67,95	66,54	30,27	1,74	3,15	Muy bajo	37,68	36,27	Muy alto	30,31	69,69	60,58	Muy pobre	0.93
T 11	68,80	66,47	64,90	28,06	2,33	3,91	Muy bajo	38,41	36,84	Muy alto	31,20	68,80	59,26	Muy pobre	0.95
T 12	67,22	65,12	63,82	30,63	2,10	3,40	Muy bajo	34,49	33,19	Muy alto	32,78	67,22	63,41	Muy pobre	0.96

En el Cuadro 6, se presentan valores los mismos que en todos los tratamientos la saturación se encuentra en un rango alto, mientras que la capacidad de aireación se encuentra en un rango muy bajo, el agua aprovechable se encuentra en un rango alto. Obteniendo un suelo muy pobre.

6.2.2 Procesamiento y análisis estadístico ANOVA.

6.2.2.1 Contraste de la hipótesis general.

Los suelos reforestados con Melina sembrados con cada uno de los tratamientos propuestos; la densidad aparente del suelo disminuirá por la eliminación del pisoteo contante del ganado bovino, se incrementará la capacidad de aireación y el agua aprovechable.

6.2.2.1.1 Planteamiento de Hipótesis D.A.

Ho: La Densidad Aparente no difiere significativamente entre los tratamientos propuestos.

H1: La Densidad Aparente difiere significativamente entre los tratamientos propuestos.

El nivel de significancia es de 5% con un nivel de confianza del 95%

Cuadro 7.- Resumen del ADOVA, de la variable Densidad aparente.

<i>Tratamientos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
T07	3	2,66	0,89	0,0120
T08	3	2,79	0,93	0,0009
T09	3	3,05	1,02	0,0052
T10	3	2,80	0,93	0,0032
T11	3	2,85	0,95	0,0055
T12	3	2,89	0,96	0,0037

Cuadro 8.- ADOVA, de la variable Densidad aparente.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Prob.</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	0,027310278	5	0,005462056	1,07	0,422	3,106
Error.	0,061093167	12	0,005091097			
Total	0,088403444	17				

En el Cuadro 7 y 8 se muestran el resumen y el análisis de varianza ANOVA, donde se obtuvo que la probabilidad es de 0.422 siendo mayor que la significancia que es de 0.05, entonces se ubica en la zona de aceptación de la hipótesis nula.

La Densidad Aparente no difiere significativamente entre los tratamientos propuestos.

6.2.2.1.2 Planteamiento de Hipótesis Capacidad de Aireación.

H₀: La Capacidad de Aireación no difiere significativamente entre los tratamientos propuestos.

H₁: La Capacidad de Aireación si difiere significativamente entre los tratamientos propuestos.

El nivel de significancia es de 5% con un nivel de confianza del 95%

Cuadro 9.- Resumen ADOVA de la variable Capacidad de Aireación.

Tratamientos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
T07	3	7,324	2,441	0,9118
T08	3	7,497	2,499	0,3741
T09	3	4,442	1,481	0,0336
T10	3	5,229	1,743	0,1589
T11	3	6,992	2,331	0,0750
T12	3	6,293	2,098	0,7826

Cuadro 10.- ADOVA de la variable Capacidad de Aireación.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Prob.	Valor crítico para F
Tratamientos	2,52	5	0,504	1,294	0,32	3,11
Error	4,67	12	0,389			
Total	7,19	17				

En el Cuadro 9 y 10 se muestran el resumen y el análisis de varianza, donde se obtuvo que la probabilidad es de 0.32 siendo mayor que la significancia que es de 0.05, entonces se ubica en la zona de aceptación de la hipótesis nula.

La Capacidad de Aireación no difiere significativamente entre los tratamientos propuestos.

6.2.2.1.3 Planteamiento de hipótesis Agua Aprovechable.

Ho: El Agua Aprovechable no difiere significativamente entre los tratamientos propuestos.

H1: El Agua Aprovechable si difiere significativamente entre los tratamientos propuestos.

El nivel de significancia es de 5% con un nivel de confianza del 95%

Cuadro 11.- Resumen ANOVA de la variable A.A

<i>Tratamientos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
T07	3	120,327	40,109	27,997
T08	3	115,709	38,570	3,628
T09	3	97,677	32,559	5,673
T10	3	113,037	37,679	10,122
T11	3	115,238	38,413	4,221
T12	3	103,478	34,493	2,957

Cuadro 12.- ANOVA de la variable A.A

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Prob.</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Tratamientos	121,770	5	24,354	2,68	0,08	3,11
Error	109,197	12	9,100			
Total	230,966	17				

En el cuadro 11 y 12 se muestran el resumen y el análisis de varianza, donde se obtuvo que la probabilidad es de 0.08 siendo mayor que la significancia que es de 0.05, entonces se ubica en la zona de aceptación de la hipótesis nula.

El Agua Aprovechable no difiere significativamente entre los tratamientos propuestos.

7 DISCUSIÓN

En el resultado del primero objetivo se obtuvo en el bloque 1, la infiltración básica es de 3.54 cm/h, catalogada como moderada con un tiempo básico de 215.88 min, mientras que en la infiltración inicial obtenida por Mora (2010) obtuvo una infiltración básica de 1.10 cm/h, catalogada como moderadamente lenta y un tiempo básico de 222 min, se puede evidenciar un aumento de 2.44 cm/h, que representa un 221.81%.

En bloque 3, se presencié una infiltración básica de 0.91 cm/h catalogada como moderadamente lenta, con un tiempo básico de 102.36 min, mientras que en la infiltración inicial obtenida por Mora (2010) obtuvo una infiltración básica de 0.7 cm/h, catalogada como moderadamente lenta, con un tiempo básico de 240 min. El cual se puede evidenciar un aumento progresivo de 0.21 cm/h, representando un 30 %.

En el bloque 4, se obtuvo una infiltración básica de 2.51 cm/h, catalogada como moderada con un tiempo básico de 172.32 min, mientras que en la infiltración inicial obtenida por Mora (2010) obtuvo una infiltración básica de 0.003 cm/h, catalogada como muy lenta evidenciando un aumento progresivo de 2.50 cm/h, representado un 83633%.

Con estos datos se puede generalizar y decir que la velocidad de infiltración básica promedio inicial (2010) fue de 0.528 cm/h, catalogándose como moderadamente lenta y la velocidad de infiltración básica actual promedio fue 2.32 cm/h corresponde a moderada, generándose un incremento del 339.39%. Esto probablemente se debe al incremento de la materia orgánica que paso del 2,84% al 4,58%, debido a que las plantas de Melina aportan con biomasa a través de las hojas y las podas que

permanentemente realizaron en el proyecto, lo que mejora la estructura del suelo y consecuentemente el movimiento del agua, deduciendo que si ha existido mejora durante este periodo 2010-2016.

(Morgan, et al, 1997) señala que la vegetación incrementa la capacidad de infiltración de los suelos. Blackburn (1984), demostró que la infiltración en suelos es más baja en suelo descubierto de vegetación, que en suelos debajo de los árboles y arbustos. Según Parr y Bertrand (1960) (citado por Coello, 2005), dicen que algunos científicos creen que la tasa de infiltración es gobernada solamente por la masa del suelo y es en gran parte independiente de las condiciones superficiales. En contraste, Horton (1940) (citado por Coello, 2005) indico que la tasa de infiltración es gobernada principalmente por condiciones cerca de la superficie de la tierra.

En el objetivo dos; fue de conocer la curva de humedad del suelo a distintos potenciales de succión (pF) 0, 1/10, 1/3 y 15 atmosferas.

En el tratamiento 07, la saturación es de 70.74 %, mientras que en el T 08 es de 69.62 %, el T 09 de 66.23 %, el T 10 de 69.69 %, el T11 68.80 % y el T 12 de 67.22 %, los mismos se clasifican como muy alto, que es igual al volumen total del espacio poroso ocupado en el suelo, que se encuentra retenido con una fuerza de succión pF =0.

El volumen total de sólidos en el T 07 es de % 29.26, en el T 08 de % 30.38, el T 09 de % 33.77, el T 10 de % 30.31, el T 11 de 31.20 % y el T 12 de 32.78%.

La capacidad de aireación a 1/10 en el T 07 se obtuvo un valor de 2.44 %, mientras que en el T 08, se obtuvo un valor de 2.50 %, en el T 09 se obtuvo de 1.48 %, en el T 10 un valor de 1.74 %, en el T 11 de 2.33 % y finalmente en el T 12 es de 2.10 %, los mismos que se clasifican como muy bajos. Esto se debe por cuanto la textura del suelo fue franco arcilloso, los mismos que por su alto contenido de arcilla y el diámetro de poros muy finos, generan una capacidad de aireación muy baja. La cantidad de carbón vegetal en 3 t/ha y 6 t/ha + la aplicación de la cal no influyeron en un incremento de la capacidad de aireación. Por lo tanto esta propiedad influyó en que los suelos sean físicamente muy pobres. Según Valarezo et al. (1998), considera que la capacidad de aireación del 10 al 15 % es satisfactoria, para el normal crecimiento de las plantas.

La capacidad de aireación para los factores fertilización, carbón vegetal y la interacción fertilización*carbón vegetal, no presentan significancia estadística.

El θ_{bvCC} del T 07 a 1/10 se obtuvo un valor de 68.30 %, en el T 08 de 67.13 %, en el T09 un valor de 64.74 %, en el T 10 de 67.95 %, el T 11 de 66.47 %, y finalmente en el T 12 a un valor de 65.12 %. Este valor se clasifica como muy alto, corresponde a la cantidad de agua que permanece en el suelo, una vez que el flujo gravitacional ha cesado, y empieza a estabilizarse.

El θ_{bvPMP} en el T 07 se obtuvo un valor de 28.19 %, mientras que en T 08 un valor de 28.56 %, en el T 09 de 32.19 %, el T 10 un valor de 30.27 %, el T 11 de 28.06 %, y finalmente en el T 12 un valor de 30.63% que corresponde a la cantidad de agua del suelo, cuando las plantas se marchitan permanentemente.

El contenido de agua aprovechable *AA* a 1/10 en el T 07 se obtuvo un valor de 40.11 %, mientras que en el T 08 un valor de 38.57 %, en el T 09 se obtuvo de 32.56, en el T 10 de 37.68 %, en el T 11 de 38.41 %, y finalmente en el T 12 de 34.49 %. El Agua Aprovechable en todos los tratamientos se mantiene en el rango de alto, por la textura del suelo es igual en todos los tratamientos.

El Volumen Físicamente inerte en el T 07 se obtuvo un valor de 57.45, mientras que en T 08 un valor de 58.93, en el T 09 de 65.96, el T 10 un valor de 60.58, el T 11 de 59.26, y finalmente en el T 12 un valor de 63.41%.

La densidad aparente del suelo en el T 07 se obtuvo un valor de 0,89 g/cm³, mientras que en T 08 un valor de 0,93 g/cm³, en el T 09 de 1.02 g/cm³, el T 10 un valor de 0.93 g/cm³, el T 11 de 0.95 g/cm³, y finalmente en el T 12 un valor de 0.96 g/cm³. Valores que son menores al límite inferior del rango común para suelos de textura arcilloso.

Deduciendo se puede decir que las dosis aplicada de 0.3 kg/m² y 0.6 kg/m² no influyeron para mejorar las condiciones físicas del suelo, obteniéndolo al suelo en la categoría de muy pobre (Zona I).

Villamagua, et, al. (2014) realizaron una investigación con tomate (*SolanumlycopersicumL*), en un suelo aluvial franco, de baja capacidad de aireación. Donde utilizaron biocarbón a 2 kg/m², y evaluaron las condiciones físicas del suelo. Estas mejoraron pasando de pobre a medio y bueno debido al incremento de la capacidad de aireacion.

Pinzón y Amezquita (1991) (citado por Noguera y Velez, 2011) de igual manera evaluaron los cambios de las propiedades del suelo, como resultado de la compactación por el pisoteo de animales en pasturas del piedemonte de Caquetá (Colombia), los datos mostraron que los animales en pastoreo modifican substancialmente las propiedades físicas de estos suelos, causando grado de compactación mayor en los primeros 15 cm, ocasionando una severa disminución en la porosidad, que afecta el desarrollo de las raíces de las plantas y su productividad.

(p.3)

8 CONCLUSIONES

La infiltración básica en el bloque 1, pasó de moderadamente lenta a moderada, mientras que en el bloque 3, la infiltración básica se mantuvo en el rango de moderadamente lenta, en el bloque 4, la velocidad de infiltración pasó de muy lenta a moderada.

En el periodo de evaluación 2010-2016. La velocidad de infiltración básica paso de moderadamente lenta a moderada, en las plantaciones de Melina, generándose un incremento del 339.39%. Esto probablemente se debe al incremento de la materia orgánica que paso del 2,84% al 4,58%, debido a que las plantas de Melina aportan con biomasa a través de las hojas y las podas que permanentemente realizaron en el proyecto, lo que mejora la estructura del suelo y consecuentemente el movimiento del agua, deduciendo que si ha existido mejora durante este periodo.

Contrarrestando las hipótesis planteadas, nos arrojan resultados que; entre tratamientos la Da, CA, AA, no existe diferencia significativa.

La aplicación de carbón vegetal en 3 y 6 t/ha no afecto en el mejoramiento de la capacidad de aireación, manteniéndose en el rango de muy bajo, y agua aprovechable en rango de alto. Consecuentemente los suelos corresponden físicamente muy pobres.

9 RECOMENDACIONES

En el experimento Panguintza, realizar nuevas evaluaciones de las condiciones físicas del suelo en las capas de 0 a 25 cm y de 25 a 50 cm, por cuanto el sistema radicular de la especie arbórea y el aporte de la materia orgánica a través de la biomasa de la especie arbórea, se mineraliza y se lixivia a capas inferiores.

Esta investigación puede servir como base para un estudio profundo de las condiciones físicas del suelo degradado por distintas actividades, dada la importancia que tienen estos en la erosión y el posterior aporte de sedimentos. Además puede servir de base para determinar el déficit hídrico que se provoca al tener desnudos los suelos.

De igual manera los resultados de esta investigación se difundan a productores, por cuanto al momento de reforestar se mejora la velocidad de infiltración, el cual influye a la regulación del recurso hídrico en la microcuenca.

10 BIBLIOGRAFÍA

Asamblea Constituyente del Ecuador. (2008). *Constitución de la Republica del Ecuador*. Montecristi.

Barragan Montaña, D. O. (2008). *Aporte y descomposición de biomasa aérea en asociaciones agroforestales y su influencia en los cultivos de cacao y café*. Universidad Técnica estatal de Quevedo facultad de ciencias ambientales., Quevedo Los Rios - Ecuador.

Beer, J., Harvey, C., Ibrahim, M., Somarriba, E., y Jimenez, F. (2003). *Servicios ambientales de los sistemas agroforestales. Agroforesteria en las Americas*.

Blackburn, W. (1984). *Impacts of grazing intensity and specialized grazing system on watershed characteristics and responses*. National Reserch Council. Developing for rangeland management.

Burley, y Speedy. (1998). *Agroforesteria para la producción Animal en Latinoamerica*. Instituto Forestal de Oxford (OFI). , Reino Unido.

Cafetal, E. (2013). Conservación del suelo. *Anacafe*. Recuperado el 05 03, 2016, de <https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=16TEC:Conservacion-de-suelo-produccion>

Castro, H. (1998). *Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas*. Tunja: Manual Técnico. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2743/1/790551.2010.pdf>

- Cely Reyes, G. (2010). *Determinacion de parametros de riego para el cultivo cebolla de bulbo en el distrito de riego del alto chicamocha*. Universidad Nacional de Colombia, Bogota. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/2743/1/790551.2010.pdf>
- Chereque, M. (1989). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil Pontificia*. Universidad Católica del Perú, Lima-Peru.
- Coello, C. (2005). *ANALISIS DE METODOS DE ESTIMACION DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA SATURADA EN SUELOS DEGRADADOS*. UNIVERDAD DE CUENCA.
- Conde Viñan, J. M., y Delgado Lavanda., S. (2015). *Efecto de fertilización y del biocarbón en el almacenamiento del carbón en las especies maderables de Gmelina Arborea y Pachaco Schilobium Parahybum, en la zona sur de la amazonia ecuatoriana*. Loja-Ecuador.
- Duque Parrado, C. (2012). *Suelos Amazonicos*. Recuperado el Octubre 2016, de <https://es.scribd.com/doc/92179823/Suelo-amazonico>
- Duque Yaguache, L. F. (2009). *Determinación Experimental del " Numero de la Curva" en cinco coberturas representativas de la provincia de Loja*. Loja- Ecuador.
- Ecuador Forestal. (2012, Octubre). *Ficha Técnica N°2: Pachaco*. Recuperado el Marzo 31, 2016, de <http://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-n-2-pachaco/>

- Estrada, W. (1997). *Manuel para la producción del Pachaco*. Quito-Ecuador.
- FAO. (2002). *El cultivo protegido en el mar mediterraneo*. Roma.
- Guerrero, J. (1998). *Interpretación de Análisis de Suelos y recomendaciones*. Obtenido de <http://www.monografias.com/trabajos29/suelo/suelo.shtml#ixzz4KGkUtvLz>
- Heredia Carranza, G. A. (2014). *Compendio de materiales*. Chiquimula.
- Jatun Sacha. (2013). *Evaluación de Servicios Ambientales en las Reservas Privadas del Nudo Noroccidente*. Quito- Ecuador.
- Linea Verde. (2016). Mursia. Obtenido de <http://www.lineaverdemurcia.com/lv/consejos-ambientales/reforestemos/que-es-la-reforestacion.asp>
- Marano, P. (2014). *Cátedra Diagnóstico y Tecnología de Aguas*. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL. FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS. Obtenido de <http://es.slideshare.net/climacoberrocalhuamani/practico-infiltracion>
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2015). *Acuerdo Ministerial 028*. Quito.
- Mora, M. (2010). *Criterios en la instalación de los experimentos y caracterización de los sitios de proyecto " Gestión de la fertilidad del suelo con enmiendas de carbón vegetal en plantaciones de árboles maderables en el sur de la amazonia ecuatoriana"*. Universidad Nacional de Loja. Loja: Técnico del Laboratorio de Suelos.

- Morgan, R., McIntyre, K., Vickers, A., Quinton, J., y Rickson, R. (1997). *A rainfall simulation study of soil erosion on rangeland in Swaziland, Scholl of Agriculture Food and Enviroment*. Cranfield University, Silsue Campus, Bedford.
- Morocho Guillas, F. L., y Chillogallo Granda, J. F. (2010). *Efectos de diferentes granulometrias de carbon vegetal en la aireacion de un suelo franco, en el cultivo de tomate de mesa(Solamun lycopersicum) bajo invernadero en la estación experimental" La Argelia", Fase II*. Loja- Ecuador.
- Musy, A. (2001). *Hydrologie generale*. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. Laboratoire Hydrologie et Amenagement.
- Naulo Arteaga, P. E. (2006). *Respuesta del tomate de riñon (Lycopersicum esculentum) bajo invernadero al mejoramiento de las propiedades físicas y químicas del suelo mediante la aplicación de abonos orgánicos y carbón vegetal, barrio Masaca*. Loja.
- Negro, V. (1998). *Catedra de Hidrología Agrícola, Apuntes de Infiltración*.
- Noguera, M., y Velez, J. A. (2011). *Evaluación de algunas propiedades físicas del suelo en diferentes usos*.
- Ordoñez Galvez, J. J. (2011). *Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestion Integral de Recurso Hídrico*. Lima-Peru.
- Rojas, R. (s/f). *Las Relaciones Agua Suelo Planta en planificacion, diseño y manejo de proyectos de aguas y tierras*. Centro de Estudios Forestales y Ambientales

de Postgrado, ULA, Mérida. , Merida. Obtenido de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/rojas.r/RASPA.PDF>

Rucks, L., Garcia, F., Kaplan, A., Ponce de Leòn, J., y Hill, M. (2004). *Propiedades físicas del suelo*. Facultad de Agronomía. Universidad de la República., Montevideo-Urugay. Obtenido de <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>

Toboada, M. (2007). *Simposio de Ganadería en Siembra Directa, Aapresid, potrero de los funes*. San Luis.

Valarezo Manosalvas, C., Iñiguez Iñiguez, M., Guaya Pauta, P., y Valarezo Manosalvas, L. (1998). *Condiciones Físicas de los Suelos de la Región Sur del Ecuador. Una guía para proyectos de riego, drenaje, manejo y conservación de los suelos*. Universidad Nacional de Loja. Loja-Ecuador.

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. Loja: Editorial Universitaria. pag 201.

Valarezo, J. M. (s.f.). *Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción sostenible de bovinos en la amazonía sur ecuatoriana*. Profesor-Investigador del Centro de Estudios y Desarrollo de la Amazonia (CEDAMAZ), Ecuador. Obtenido de http://unl.edu.ec/sites/default/files/investigacion/revistas/2014-9-5/4_articulo_de_revision_-_23_-_30_c2.pdf

Valverde , J. (2007). *Riego y Drenaje*. Costa Rica.: Editorial de la Universidad Estatal
a Distancia (EUNED). Obtenido de
<http://www.bdigital.unal.edu.co/2743/1/790551.2010.pdf>

Villamagua, M. Á. (2014). *Almacenamiento de carbono y evolución de la fertilidad de un suelo desarrollado sobre granodiorita, en la fase inicial de una plantación de Gmelina arborea y Schizolobium parahybum con enmiendas de carbón vegetal, en la región sur de la amazonia E. Santo Domingo - Ecuador.*

Villamagua, M., Valarezo, L., Valarezo, C., Tandazo, C., y Ramón, M. (2014). *Efecto de granulometría de biocarbon sobre las condiciones físicas del suelo y tensiones de humedad en el cultivo del tomate Solanumlycopersicum, bajo invernadero*. CEDAMAZ. VOLUMEN 3.

Zhunaula, W. (2016). *Evaluacion Química y Biológica de la Fertilidad Actual del Suelo, desarrollado sobre la andesita en sistema de riego la era, cantón Catamayo*. Loja-Ecuador.

11 ANEXOS.

Anexo. 1.-Hoja de campo.

		Bloque 1			
Cilindro 1		Cilindro 2		Cilindro 3	
Tiempo	Lamina	Tiempo	Lamina	Tiempo	Lamina
9:59	10	9:59	10	9:59	10
10:04	0,5	10:04	4,5	10:04	3,9
10:09	1	10:09	5,7	10:09	5,8
10:14	1,3	10:14	7	10:14	6,9
			10 R		10 R
10:19	1,6	10:19	2	10:19	1,9
10:24	2	10:24	3,2	10:24	4
10:29	2,3	10:29	6,5	10:29	6,8
			10 R		10 R
10:34	2,6	10:34	1,3	10:34	1,8
10:39	3	10:39	2,6	10:39	3,3
10:44	3,2	10:44	4,7	10:44	4,9
10:49	3,5	10:49	8,5	10:49	8,6
			10 R		10 R
10:54	3,8	10:54	1	10:54	1,5
10:59	4	10:59	1,8	10:59	3
11:09	4,6	11:09	4,1	11:09	6,1
	10 R		10 R		10 R
11:19	0,5	11:19	1,9	11:19	2,8
11:29	0,8	11:29	3,6	11:29	6,4
					10 R
11:39	1,2	11:39	5,1	11:39	2,8
11:49	1,5	11:49	8,5	11:49	5,2
			10 R		10 R
11:59	1,7	11:59	1,1	11:59	2,2
12:14	2	12:14	3,4	12:14	5
					10 R
12:29	2,4	12:29	5,4	12:29	3,8
12:44	2,5	12:44	8,2	12:44	6,8
			10 R		10 R
12:59	2,9	12:59	2,2	12:59	3,8
13:19	3,5	13:19	4,6	13:19	7,8
			10 R		10 R
13:39	3,8	13:39	6,6	13:39	4,8

Anexo. 2.-Resultado de análisis de laboratorio de la curva pF

LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y BROMATOLOGIA AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES						
Provincia:	Zamora Chinchipe	FECHA DE INGRESO:	04/07/2016			
Cantón:	Centinela del Cóndor	FECHA DE EGRESO:	28/09/2016			
Parroquia:	Panguitza	RESPONSABLE:	Pablo Andrés Peñafiel Jumbo			
Sector:	Panguitza					
Convenio de Tesis "Evaluación de la incidencia del carbón vegetal, cal y nutrientes minerales sobre las condiciones físicas del suelo; en un área reforestada con pachaco y melina en Panguitza y Zamora"						
Lab.	Campo/ cilindro	% Saturación	% Humedad a 1/10	% Humedad a 1/3	P.M.P (% Humedad a 15 atm.)	Densidad Aparente (g/cm ³)
17 C	T12 08	64,67	63,71	62,74	30,82	1,04
11 VX	T09 11	53,07	51,84	50,88	27,81	1,14
15 X	T11 03	66,30	64,21	63,31	29,27	1,00
13 J	T8 05	86,28	81,23	78,46	29,45	0,83
15 V	T11 04	74,55	72,30	69,63	31,21	0,94
13	T8 06	62,83	61,96	60,50	28,74	1,03
11 V	T09 12	63,99	62,73	61,76	31,21	1,03
21	T10 10	63,91	62,44	61,16	29,81	1,02
10 X	T7 02	65,07	63,19	61,71	25,13	1,01
9-09	T7 01	66,57	64,66	62,96	29,88	1,00
21 V	T10 09	70,01	68,58	67,25	32,90	0,98
x 7 x	T12 07	64,38	63,11	62,43	31,10	1,02
15- 3V	T10 13	89,28	87,09	85,87	35,03	0,82
19 V	T09 36	76,36	73,87	71,72	31,41	0,88
11	T09 35	63,70	62,60	61,00	30,87	1,00
7 X	T09 16	64,18	62,85	61,99	33,55	1,05
3	T08 27	72,03	70,46	68,48	34,46	0,96
1 V	T10 14	72,79	71,46	70,64	34,44	0,97
20 ve	T12 20	71,28	69,57	67,66	33,13	0,94
7 V	T12 29	72,46	68,25	66,48	31,72	0,90
22 X	T9 15	71,81	70,39	69,27	35,63	0,99
19	T12 30	78,27	76,07	74,75	32,21	0,91
y 6	T11 17	58,24	55,18	53,65	19,41	1,11
4 V	T11 32	81,59	78,55	76,46	20,83	0,86
	T07 25	95,21	92,63	90,30	35,53	0,77
8-4	T10 33	88,05	85,10	82,14	32,56	0,81
53-						
14X	T07 24	81,37	77,66	75,46	28,05	0,86
8-17	T07 23	103,91	98,79	95,28	34,53	0,74
17	T08 28	72,78	70,59	67,78	30,70	0,96
16	T8 21	85,85	82,10	80,05	29,75	0,83
	T10 34	66,23	64,31	62,80	30,34	0,99
METODOLOGIA USADA		EXTRACTANTES				
pH	= Suelo apos (1:2,5)	Distil Modificado				
pF	= Colorimetría	N, P, K, Ca, Mg, Co, Fe, Mn, Zn				
S, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn	= Absorción atómica	A través del carbón Orgánico				
Material Orgánico	= Walkley Black					

LABORATORIO DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS, AGUAS Y
BROMATOLOGIA
AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

23	PI	73,58	70,21	68,74	33,55	0,95
24 X	T11 18	74,73	72,77	71,24	31,33	0,92
2	T12 19	68,34	65,37	63,83	31,65	0,98
1º9	P2	81,70	79,63	78,37	34,01	0,87
13	T11 31	77,39	75,23	74,09	33,56	0,88
8º11	T07 26	73,12	71,29	69,68	35,67	0,93
10	T08 22	69,68	66,91	65,88	30,97	0,97

Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg.
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



METODOLOGIA USADA		EXTRACTANTES
Pb	= Solilo: agua (1:2.5)	Disen Modificado
N,P	= Colorimetria	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn
K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn	= Absorción atómica	
Materia Orgánica	= Walkley Black	A través del carbón Orgánico

Anexo. 3.- Resultado del análisis de materia orgánica y pH.



LABORATORIO DE ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELOS, AGUAS Y
BROMATOLOGÍA
ÁREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

Provincia:	ZAMORA	FECHA DE INGRESO:	28/09/2016
Cantón:	YANZATZA	FECHA DE EGRESO:	03-10-2016
Parroquia:	Panguintza	RESPONSABLE:	Pablo Andrés Peñafiel Jumbo

1. RESULTADOS DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	pH	Materia Orgánica
2089	PV03 Panguintza	5,03	4,58

2. INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS

Cód. Lab.	Cód. Campo	pH	Materia Orgánica
2089	PV03 Panguintza	Ácido	Medio


 Ing. Omar Ojeda Ochoa Mg. Sc.
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO



METODOLOGÍA USADA		EXTRACTANTES
pH	= Suelo: agua (1:2,5)	Clase Modificada
N,P	= Cámbium	N,P,K,Ca,Mg,Cu,Fe,Mn,Zn
K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, Zn	= Absorción yódica	
Materia Orgánica	= Walkley Black	4 horas de Carbón Orgánico

Anexo. 4.-Velocidad de infiltración básica bloque 1.

No. Orden	Tiempo Acumulada (min)	Infiltración Acumulada. (cm)	V. Infiltración (cm/min)
1	5	1,37	0,23
2	10	2,53	0,18
3	15	3,53	0,15
4	20	4,50	0,14
5	25	5,23	0,13
6	30	6,07	0,12
7	35	6,77	0,11
8	40	7,37	0,11
9	45	8,00	0,10
10	50	8,60	0,10
11	55	9,17	0,10
12	60	9,73	0,09
13	70	10,60	0,09
14	80	11,27	0,08
15	90	11,87	0,08
16	100	12,53	0,08
17	110	13,13	0,08
18	120	13,67	0,07
19	135	14,47	0,07
20	150	15,10	0,07
21	165	15,70	0,07
22	180	16,40	0,06
23	200	17,17	0,06
24	220	17,87	0,06
25	240	18,50	0,06

Anexo. 5.-Velocidad de infiltración básica, bloque 3.

No. Orden	Tiempo Acumulada (min)	Infiltración Acumulada. (cm)	V. Infiltración (cm/min)
1	5	0,10	0,03
2	10	0,30	0,02
3	15	0,40	0,02
4	20	0,50	0,02
5	25	0,60	0,02
6	30	0,70	0,02
7	35	0,80	0,02
8	40	1,10	0,02
9	45	1,10	0,02
10	50	1,10	0,02
11	55	1,20	0,02
12	60	1,20	0,02
13	70	1,40	0,02
14	80	1,60	0,02
15	90	1,70	0,02
16	100	1,80	0,02
17	110	1,90	0,01
18	120	2,00	0,01
19	135	2,20	0,01
20	150	2,40	0,01
21	165	2,50	0,01
22	180	2,80	0,01
23	200	3,10	0,01
24	220	3,40	0,01
25	240	3,60	0,01

Anexo. 6.- Velocidad de Infiltración básica, bloque 4.

No. Orden	Tiempo Acumulada (min)	Infiltración Acumulada. (cm)	V. Infiltración (cm/min)
1	5	0,67	0,12
2	10	1,17	0,09
3	15	1,67	0,08
4	20	2,23	0,08
5	25	2,73	0,07
6	30	3,23	0,07
7	35	3,67	0,07
8	40	4,00	0,06
9	45	4,23	0,06
10	50	4,57	0,06
11	55	4,87	0,06
12	60	5,10	0,06
13	70	5,67	0,05
14	80	6,13	0,05
15	90	6,50	0,05
16	100	6,83	0,05
17	110	7,17	0,05
18	120	7,57	0,05
19	135	8,27	0,04
20	150	8,70	0,04
21	165	9,30	0,04
22	180	9,83	0,04
23	200	10,47	0,04
24	220	11,20	0,04
25	240	11,80	0,04

Anexo. 7.-Velocidad de infiltración promedio, ensayo Panguintza.

No. Orden	Tiempo Acumulada (min)	Infiltración Acumulada. (cm)	V. Infiltración (cm/min)
1	5	0,71	0,12
2	10	1,33	0,10
3	15	1,87	0,09
4	20	2,41	0,08
5	25	2,86	0,07
6	30	3,33	0,07
7	35	3,74	0,07
8	40	4,16	0,06
9	45	4,44	0,06
10	50	4,76	0,06
11	55	5,08	0,06
12	60	5,34	0,06
13	70	5,89	0,05
14	80	6,33	0,05
15	90	6,69	0,05
16	100	7,06	0,05
17	110	7,40	0,05
18	120	7,74	0,04
19	135	8,31	0,04
20	150	8,73	0,04
21	165	9,17	0,04
22	180	9,68	0,04
23	200	10,24	0,04
24	220	10,82	0,04
25	240	11,30	0,04

ÍNDICE GENERAL.

Índice de Contenido.

CERTIFICACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
CARTA DE AUTORIZACIÓN.	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
1 TÍTULO	1
2 RESUMEN	2
2.1 Summary.....	4
3 INTRODUCCIÓN	5
4 REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
4.1 Condiciones físicas del suelo.....	8
4.2 Suelos de la zona sur de la amazonia ecuatoriana.....	8
4.3 Características de un buen sustrato.....	10
4.4 Relación agua-suelo-planta.....	11

4.4.1	Sobre las actividades de las plantas.....	11
4.5	La conservación del suelo.	12
4.6	La reforestación.	12
4.6.1	Aporte de biomasa aérea.....	13
4.6.2	Sistemas silvopastoriles.....	14
4.7	Evaluación de servicios ambientales.	16
4.8	El agua.....	18
4.8.1	Precipitación.....	18
4.8.2	Evaporación.	18
4.8.3	Intercepción.....	19
4.8.4	Evotranspiración.....	19
4.8.5	Escorrentía superficial.....	19
4.9	Factores que afectan a la velocidad de infiltración y pF.....	19
4.9.1	La textura.	19
4.9.2	La estructura.....	20
4.9.3	Porosidad	21
4.9.4	Cobertura vegetal.....	21

4.9.5	Materia orgánica.....	21
4.9.6	Pendiente del terreno.	21
4.9.7	Profundidad del perfil.	22
4.9.8	Temperatura y grado de humedad del suelo.	22
4.9.9	Acción de la precipitación sobre el suelo.	22
4.9.10	Compactación del suelo por sobrepastoreo bovino.	23
4.10	Infiltración	24
4.10.1	Taza de infiltración	24
4.10.2	Velocidad de infiltración.	24
4.10.3	Método doble anillo para la medición de la velocidad de infiltración....	25
4.11	Curva de Retención del Agua.	26
4.11.1	Puntos importantes de Curva de retencion de agua.	27
4.11.2	Evaluación de las condiciones físicas del suelo.	31
4.12	Estudios relacionados con el tema.	32
4.13	Marco Legal.....	35
4.13.1	Constitución de la República del Ecuador.	35
5	MATERIALES Y MÉTODOS.	37

5.1	Características Generales.....	37
5.1.1	Ubicación Política y Geográfica.....	37
5.1.2	Suelo.....	38
5.1.3	Clima.....	38
5.1.4	Zonas de Vida.....	38
5.2	Materiales.....	39
5.2.1	Materiales de campo.....	39
5.2.2	Materiales de Oficina	40
5.3	Métodos.....	40
5.3.1	Diseño de la investigación.....	40
5.3.2	Metodología para el primer objetivo.....	42
5.3.3	Metodología para el segundo objetivo.....	46
6	RESULTADOS.....	51
6.1	Resultado del objetivo 1	51
6.1.1	Determinación de la velocidad de infiltración básica, bloque 1.....	51
6.1.2	Determinación de la velocidad de infiltración básica, bloque 3.....	53
6.1.3	Determinación de la velocidad de infiltración básica bloque 4.....	55

6.1.4	Determinación de la velocidad de infiltración básica promedio del ensayo Panguintza.	56
6.1.5	Velocidad de infiltración básica inicial del ensayo Panguintza.	59
6.1.6	Técnica de procesamiento y análisis de la hipótesis.....	59
6.2	Resultado del objetivo 2.....	61
6.2.1	Curva de retención de agua promedio, ensayo Panguintza.....	61
6.2.2	Procesamiento y análisis estadístico ANOVA.....	62
7	DISCUSIÓN.....	66
8	CONCLUSIONES.....	71
9	RECOMENDACIONES.....	72
10	BIBLIOGRAFÍA.....	73
11	ANEXOS.....	79

Índice de Tablas.

Tabla 1.- Datos específicos de un buen sustrato.	10
Tabla 2.- Clasificación taxonómica de la <i>Gmelina arborea</i>	15
Tabla 3.- Textura de suelos.	20
Tabla 4.- Conductividad hidráulica y valores asociados de permeabilidad.	25
Tabla 5.- Valores pF, su equivalencia en atm, y los puntos más importantes.....	27
Tabla 6.- Tabla ANOVA, para realizar los cálculos y toma de decisión.	50

Índice de Cuadros.

Cuadro 1.- Factores de estudio del experimento.....	40
Cuadro 2.- Velocidad de infiltración básica en los bloques del sitio experimental Panguintza, cantón Centinela del Cóndor, provincia de Zamora Chinchipe. Agosto 2016.....	57
Cuadro 3.- Velocidad de infiltración básica (Mora, 2010)	59
Cuadro 4.- Resumen ANOVA, evolución de la velocidad de infiltración.	60
Cuadro 5.- ANOVA, evolución de la velocidad de infiltración	60
Cuadro 6.- Evaluación de las condiciones físicas, ensayo Panguintza.	62
Cuadro 7.- Resumen del ADOVA, de la variable Densidad aparente.....	63
Cuadro 8.- ADOVA, de la variable Densidad aparente.....	63
Cuadro 9.- Resumen ADOVA de la variable Capacidad de Aireación.....	64
Cuadro 10.- ADOVA de la variable Capacidad de Aireación.	64
Cuadro 11.- Resumen ANOVA de la variable A.A.....	65
Cuadro 12.- ANOVA de la variable A.A	65

Índice de Figuras.

Figura. 1.- Curva de retención de agua	27
Figura. 2.- Diagrama triangular para la evaluación de las condiciones físicas del suelo	32
Figura. 3.- Esquema general del experimento Panguintza.	41
Figura. 4.- Infiltración Acumulada bloque 1.	51
Figura. 5.- Velocidad de infiltración bloque 1.....	52
Figura. 6.- Infiltración Acumulada bloque 3.	53
Figura. 7.- Velocidad de infiltración, bloque 3.....	54
Figura. 8.- Infiltración Acumulada, bloque 4.	55
Figura. 9.- Velocidad de Infiltración, bloque 4.....	56
Figura. 10.- Infiltración acumulada promedio, ensayo Panguintza.	57
Figura. 11.- Velocidad de infiltración promedio, ensayo Panguintza.	58
Figura. 12.- Curva de Retención de agua promedio, ensayo Panguintza.....	61

Índice de Fotografías

Fotografía 1.- Medición de la distancia para la colocación de los cilindros.	43
Fotografía 2.- Proceso de la colocación de los cilindros.	44
Fotografía 3.- Vertido de agua	44
Fotografía 4.- Proceso para la toma de muestras inalteradas.....	47

Índice de Mapas

Mapa 1. Ubicación Política del ensayo experimental.	37
---	----

Índice de Anexos.

Anexo. 1.- Hoja de campo.	79
Anexo. 2.- Resultado de análisis de laboratorio de la curva pF	80
Anexo. 3.- Resultado del análisis de materia orgánica y pH.....	82
Anexo. 4.- Velocidad de infiltración básica bloque 1.	83
Anexo. 5.- Velocidad de infiltración básica, bloque 3.	84
Anexo. 6.- Velocidad de Infiltración básica, bloque 4.	85
Anexo. 7.- Velocidad de infiltración promedio, ensayo Panguintza.	86