

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

1. **TÍTULO:** “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata*, EN TRES SITIOS DE LA REGIÓN SIERRA ECUATORIANA”

2. **AUTOR:** Hernán David Cáceres Alvarán.

3. **DIRECTOR:** Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez, MSc.

4. **COMITÉ LECTOR:** Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja. Esp

 Ing. María Cristina Echeverría De Labastida. PhD

 Blgo. Jhonn James Rodríguez Echeverry. PhD

5. **AÑO:** 2017

6. **LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN:** Zuleta, San Isidro de Cajas y Achupallas

7. **BENEFICIARIOS:** Aportará conocimiento al sector forestal relacionado a las variables edáficas donde estas masas forestales se desarrollan.

HOJA DE VIDA DEL INVESTIGADOR



APELLIDOS: Cáceres Alvarán

NOMBRES: Hernán David

C. CIUDADANIA: 100xxxxxx-x

TELÉFONO CONVENCIONAL: 2 946 070

TELEFONO CELULAR: 0969983551

CORREO ELECTRÓNICO: cacereshdavid@hotmail.com

DIRECCIÓN: Otavalo, parroquia San Juan de Ilumán, calle Atahualpa e Imbabura.

AÑO: 2017

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA -UTN

Fecha: 18 de septiembre del 2017

Hernán David Cáceres Alvarán: **"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata*, EN TRES SITIOS DE LA REGION SIERRA ECUATORIANA"**/Trabajo de titulación. Ingeniero Forestal. Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Forestal. Ibarra, 18 de septiembre del 2017. 14 páginas.

DIRECTORA: Ing. Gladys Nery Yaguana Jiménez, Mgs.

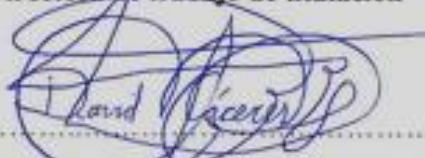
El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, y su incidencia en plantaciones de *Pinus radiata*, en tres diferentes localidades de la sierra (Zuleta, San Isidro de Cajas y Achupallas) para establecer su variabilidad. Entre los objetivos específicos se encuentra: Describir las características físicas y químicas del suelo en cada una de las plantaciones en estudio, determinar la densidad poblacional de grupos microbianos asociadas al ciclaje de nutrientes Carbono, Nitrógeno y Fósforo en suelos de bosques plantados de coníferas, relacionar la incidencia de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo con el dap y altura de las plantaciones en análisis, y determinar la relación de las variables edáficas físicas, químicas y biológicas entre las tres plantaciones de *Pinus radiata*, ubicadas en distintos sitios.

Fecha: 18 de septiembre del 2017



Ing. Gladys Nery Yaguana Jiménez

Directora de trabajo de titulación



Hernán David Cáceres Alvarán

Autor

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO
EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata*, EN TRES SITIOS DE LA REGIÓN SIERRA
ECUATORIANA”.**

Autor: Hernán David Cáceres Alvarán
Director de trabajo de titulación: Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales
Carrera de Ingeniería Forestal
Universidad Técnica del Norte
Ibarra-Ecuador
cacereshdavid@hotmail.com
Teléfono: 2946070/0969983551

RESUMEN

La investigación se desarrolló en plantaciones de *Pinus radiata* ubicadas en Zuleta, San Isidro de Cajas y Achupallas, provincias de Imbabura y Pichincha. Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo de cada sitio se determinaron, en muestras representativas de cada plantación, mediante análisis de suelos realizados en los Laboratorios de Agrocalidad. Se midió también la densidad poblacional de grupos funcionales de bacterias celulolíticas (BC), fijadoras de nitrógeno (BFN) y solubilizadoras de fosfato (BSP), mediante un conteo directo en placas para cada grupo funcional bacteriano en mención en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales y Biotecnológicas (Labinamb) de la Universidad Técnica del Norte de Ibarra. El DAP y la Ht se obtuvieron mediante inventario forestal. Para el análisis estadístico se aplicó la prueba de *t* de Student y un análisis de correlación.

Las áreas de estudio de Zuleta, San Isidro de Cajas y Achupallas a pesar de encontrarse en rangos altitudinales aproximadamente similares, misma especie forestal plantada, y edades de 13 y 14 años, presentaron diferencias en cuanto a clase textural y materia orgánica. Estos parámetros repercutieron significativamente en la variación de las demás variables. Las medidas dasométricas únicamente presentaron relación entre la altura total (Ht) del árbol con las variables edáficas fósforo, potasio, calcio, cobre y magnesio. Se observó correlaciones entre la densidad aparente, porosidad, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, contenido de la fracción arena y potasio. Se determinó también que la Ht de las plantaciones así como su DAP estuvieron influenciados por la densidad de la plantación y el manejo aplicado a las mismas, probándose la hipótesis alternativa de la investigación.

Palabras clave: Grupos funcionales, bacterias celulolíticas, bacterias solubilizadoras de fosfato, bacterias fijadoras de nitrógeno, *Pinus radiata*.

ABSTRACT

The research was carried out in plantations of *Pinus radiata* located in Zuleta, San Isidro de Cajas and Achupallas, provinces of Imbabura and Pichincha. The physical, chemical and biological properties of the soil of each site were determined, in representative samples of each plantation, by soil analysis performed in Agrocalidad Laboratories. The population density of functional groups of cellulolytic bacteria (BC), nitrogen fixing (BFN) and phosphate solubilizers (BSP) was also measured by direct plaque counting for each bacterial functional group mentioned in the Laboratory of Environmental Investigations and Biotechnology (Labinamb) of the Technical University of Northern Ibarra. DAP and Ht were obtained through forest inventory. T Student test and correlation analysis were applied for the statistical analysis.

The study areas of Zuleta, San Isidro de Cajas and Achupallas, although found in approximately altitudinal ranges, the same planted forest species, and ages of 13 and 14 years, presented differences in textural class and organic matter. These parameters had a significant impact on the variation of the other variables. The measurements were only correlated between the total height (Ht) of the tree and the edaphic variables phosphorus, potassium, calcium, copper and magnesium. Correlations were observed between bulk density, porosity, organic matter, nitrogen, phosphorus, sand and potassium content. It was also determined that the Ht of the plantations as well as their DAP were influenced by the density of the plantation and the management applied to them, proving the alternative hypothesis of the investigation.

Keywords: Functional groups, cellulolytic bacteria, phosphate solubilizing bacteria, nitrogen fixing bacteria, *Pinus radiata*.

INTRODUCCIÓN

En términos generales las plantaciones forestales en el Ecuador no cuentan con ningún tipo de análisis físico, químico y biológico del suelo al momento de su establecimiento, y menos aún en el transcurso del crecimiento de las masas forestales.

Las plantaciones de pino no son la excepción, salvo aquellas establecidas por las empresas tableristas de NOVOPAN del Ecuador S.A y AGLOMERADOS COTOPAXI S.A. Tampoco existe una comparación entre propiedades del suelo provenientes de distintos sitios, con similar rango altitudinal, especie y edades. Esto limita conocer la acción de las variables del suelo en los distintos sitios donde las masas forestales de coníferas se encuentran en desarrollo.

Las plantaciones de *Pinus radiata* se las encuentran en mayor proporción en las provincias de Carchi, Imbabura, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Bolívar y

Chimborazo; a diferencia de Cañar, Azuay y Loja donde esta especie forestal no presenta buenas adaptaciones, por causas desconocidas de suelo, clima o combinación de ambos (Galloway, 1986; mencionado por Herrera, 2003). Si bien, existe extensa información silvicultural, de aprovechamiento, uso de la madera, uso de productos forestales maderables y no maderables, no existe información referente a la relación de las características edáficas (físicas, químicas y biológicas) con el crecimiento de la especie mencionada.

Los sitios de Zuleta, San Isidro de Cajas y Achupallas considerados para la investigación, se encuentran en un rango altitudinal de 3200 a 3400 msnm, con plantaciones de *Pinus radiata* de 13 a 14 años, en pendientes diferentes. Hasta el momento, estas masas forestales no cuentan con un análisis comparativo y correlacional de las variables edáficas y dasométricas entre los sitios. Se determinó las variables antes mencionadas y se compararon entre sí; además se realizó análisis de correlación con

la finalidad de generar información que contribuya a mejorar la producción de la especie forestal.

METODOLOGÍA

Área de estudio

Se obtuvo plantaciones de *Pinus radiata* en distintos sitios de la región Sierra ecuatoriana con similares características en: especie, rango altitudinal y edad. Mediante GPS y jalones se delimitó las áreas experimentales de una hectárea en Zuleta, San Isidro de Cajas y Achupallas; que permitió precisar el área de muestreo de suelo y situar la parcela de 1000 m² para el inventario de la plantación.

Tabla 1.

Referencias de las áreas experimentales seleccionadas

Sitio	Especie	Rango altitudinal (msnm)	Edad (años)
Zuleta	<i>Pinus radiata</i>	3400	13
Cajas	<i>Pinus radiata</i>	3200	14
Achupallas	<i>Pinus radiata</i>	3200	13

Elaborado por: David Cáceres

Muestreo de suelos

Para las variables físicas y químicas, las muestras de suelo fueron colectadas a 30 cm de profundidad utilizando el método de muestreo en zigzag y empacadas en una funda plástica con su respectiva etiqueta. En total se recolectó nueve muestras compuestas provenientes de los tres rodales seleccionados, los cuales fueron enviadas al Laboratorio de suelos, foliares y aguas de la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro, (AGROCALIDAD), perteneciente al Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP), ubicado en la parroquia Tumbaco cantón Quito. Con respecto a las variables biológicas, las muestras de suelo se colectaron a 20 cm de

profundidad, empacados en una funda plástica con su respectiva etiqueta y transportadas dentro de un contenedor cooler hasta el Laboratorio de Investigaciones Ambientales y Biotecnología (LABINAMB), donde se conservó a 4-6°C en la nevera.

Características físicas y químicas del suelo

Las variables físicas identificadas son: textura por el “método bouyoucos”, densidad aparente mediante “método del cilindro”, densidad real a través de “método del picnómetro”, porosidad por medio del “método de cálculo” y capacidad de campo por el “método de centrifuga”

Las siguientes variables físicas se las determinó en el campo:

El color se determinó al comparar los diferentes patrones de color establecidos por la tabla Munsell (Ibañez, Gisbert, y Moreno, 2010). La profundidad efectiva se realizó una calicata de 1 m x 1 m, hasta una profundidad de 1,25 metros de profundidad. Y la infiltración se determinó por el método del doble anillo concéntrico, en la capa superficial de las áreas experimentales. (Ruiz, Venialgo, Gutierrez, Noemi e Ingaramo, 2004).

Las variables químicas determinadas son: pH por el “método del potenciómetro”, capacidad de intercambio catiónico mediante el “método de absorción atómica” y la materia orgánica a través del “método volumétrico”. Respecto a los macronutrientes (N, P, Mg, Ca, K, S): el nitrógeno por el “método volumétrico”, el fósforo mediante el “método colorimétrico”, el magnesio, calcio y potasio por medio del “método de absorción atómica”, y el azufre a través del “método turbidimétrico”. Y micronutrientes (B, Cu, Zn, Mn, Fe): el boro por el “método colorimétrico”, el cobre, zinc, manganeso y hierro mediante “absorción atómica”.

Determinación de las variables biológicas.

Para el análisis de las variables biológicas se tomó en consideración la densidad poblacional de bacterias celulolíticas (BC), bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) y bacterias solubilizadoras de fosfato (BSP). Con el fin de tener una estimación de la

densidad poblacional de los grupos funcionales bacterianos de interés, se realizó un recuento en placa de poblaciones de bacterias cultivables mediante diluciones seriadas para bacterias celulolíticas, fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato de cada sitio.

Para determinar la densidad se realizó los recuentos en cada caja y se obtuvo los promedios, se calculó la cantidad de UFC por gramo de suelo seco, teniendo en cuenta la dilución a sembrarse y el porcentaje de humedad de las muestras de suelo (Gómez, 2011).

Obtención de las variables dasométricas

Para las variables dasométricas se consideró el diámetro a la altura del pecho (DAP) y altura total (Ht) del *Pinus radiata*. Se desarrolló el inventario sistemático a una intensidad de 10% en cada plantación de *Pinus radiata*, que permitió obtener datos precisos y verdaderos. Mediante GPS se hizo el levantamiento de la superficie de la plantación, con el cual se hizo un mapa respectivo. Dentro del rodal se delimitó la parcela rectangular de 1000 m², donde se obtuvieron las variables dasométricas correspondientes. Se señaló con un spray cada árbol a medir, utilizando una numeración diferente para cada individuo dentro de la parcela. Se utilizó la medida tradicional de un árbol el “diámetro a la altura del pecho”, en forma abreviada DAP. Esta medida permitió conocer el diámetro que tiene el fuste del árbol a la altura de 1.30 m desde el nivel del suelo (Jaramillo, 2001). El instrumento utilizado fue la cinta métrica, por su precisión, peso ligero y fácil transporte. La medición de la distancia vertical que existe desde el nivel del suelo hasta el ápice del árbol (Ht) se realizó mediante el uso del clinómetro, a 20 m de distancia a partir de tallo del árbol. Esto se desarrolló sistemáticamente en cada décimo árbol

Análisis estadístico

Se desarrolló un análisis de correlación entre las variables edáficas y las variables dasométricas para evidenciar la interacción existente entre ambos componentes. La prueba de *t* de Student permitió comparar las medias de las variables físicas, químicas y biológicas estudiadas entre las tres plantaciones forestales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de los rodales seleccionados

El rodal corresponde a la superficie de una hectárea, ubicada en la comunidad de Zuleta y administrada por la “Hacienda Zuleta y Anexas”; establecida en el año 2004 a una densidad de plantación de 3m x 3m, en el sistema tres bolillo; en cuanto al manejo cuenta con una poda de formación a los cinco años y un raleo silvicultural a los nueve años.

El rodal ocupa una superficie de una hectárea, situada en la comunidad San Isidro de Cajas y administrada por la “Hacienda Catacoopamba”; establecida en el año 2003 a una densidad de plantación de 4m x 4m, en el sistema tres bolillo; cuenta con una poda de mantenimiento y formación a los cinco años de edad.

El rodal cuenta con una superficie de una hectárea, localizada en la comunidad de Achupallas y administrada por la “Hacienda La Toma”; establecida en el año 2004 y se empleó el espaciamiento 3m x 3m, en el sistema de tres bolillo; cuenta con una poda de mantenimiento y formación a los cinco años de edad. En el presente (2017) tiene 13 años.

Descripción de las propiedades físicas y químicas del suelo

Del análisis de las muestras representativas de suelo en cada una de las plantaciones de *Pinus radiata*, se obtuvo resultados de las variables físicas y químicas, donde se logró evidenciar ciertas diferencias.

VARIABLES FÍSICAS

La textura en Zuleta y San Isidro de Cajas fueron franco, mientras Achupallas fue franco arenoso. Esto es debido a la ubicación de las masas forestales en suelos de origen volcánico, puesto que pueden presentar variaciones a pesar de encontrarse en mismos rangos altitudinales, similar al estudio de Vargas, (2012) quien evidenció que las plantaciones de pino de las haciendas San Joaquín, Santa Ana y Colcas ubicadas en Latacunga, presentaron diferentes texturas que variaron de arcillosos, franco arcilloso, arenoso y franco arenoso, de acuerdo a la

altitud de los puntos muestreados.

La densidad real de los suelos presentó valores promedios de $2,28 \text{ g/cm}^3$ para las áreas analizadas. Mientras para la densidad aparente las plantaciones de Zuleta y San Isidro de Cajas fueron menores en comparación de Achupallas, que da conocer que valores altos en densidad aparente poseen un mayor grado de compactación mientras valores bajos indican suelos ideales para el desarrollo radical de la planta.

Los datos fueron diferentes a Murray, *et al.*, (2011) donde la densidad real alcanzó un valor promedio de $2,60 \text{ g/cm}^3$ en suelos de sistemas agroforestales, esto posiblemente se deba a que las muestras fueron obtenidas con un exceso de materia orgánica, lo cual suelen repercutir en los resultados de esta variable.

Los resultados fueron similares al estudio desarrollado en Cuba por García, *et al.*, (2009) donde la localidad de Sabanalamar con suelos arenosos presentó mayor densidad aparente en relación a las localidades Viñales y Galalón de suelos arcillosos. A través de esto se deduce que los suelos arcillosos tienden a poseer menor densidad aparente coincidiendo con el reporte sobre suelos de textura fina con *Pinus radiata* en Galicia, donde se evidenció densidades aparentes relativamente bajas entre $1,0$ y $1,2 \text{ g/cm}^3$ (Merino, Rey, Brañas, y Rodríguez, 2003).

La porosidad presentó una tendencia mayor en Zuleta, seguida por San Isidro de Cajas y Achupallas, debido al contenido de materia orgánica y la fracción arcilla; a diferencia del último que se debió a la presencia de la fracción arena.

Esto se comprueba en la investigación de Gómez, (2011) donde la porosidad total fue mayor en suelo arcilloso que en suelo arenoso, motivo se presencié un aumento de porosidad en suelo franco que en franco arenoso; puesto que un suelo arenoso posee menor número de porosidad con espacios grandes, mientras un suelo arcilloso posee mayor número de porosidad con pequeñas dimensiones. Esto se evidencia en la investigación de Murray, *et al.*, (2011) quienes en suelos de textura arcillosa con sistemas agroforestales, obtuvieron una porosidad promedio de $51,06\%$; valores altos a la presente investigación.

Se evidenció ínfimas variaciones entre sitios, revelando para Zuleta una capacidad de campo y punto de marchitez mayor, seguida por Achupallas y San Isidro de Cajas, que presencia relación con la materia orgánica y cubierta de hojarasca de pino presente. La razón por el que San Isidro de Cajas presenta constantes hidrofísicas inferiores a los demás sitios, es debido al mayor grado de pendiente.

En relación con la investigación de Dimas, Díaz, Martínez, y Valdez, (2001) quienes detectaron que al aplicar abono orgánico en suelos del Ejido de Venecia, la capacidad de campo y punto de marchitez permanente mostraron un aumento del 10% ; se infiere que la materia orgánica juega un papel muy importante en la retención del agua. De acuerdo a Muñoz, Ferreira, Escalante, y López, (2013) los matorrales con superficies de suelo recubiertos con residuos vegetales como hojas, frutos y pequeñas ramas, permiten disipar la energía del escurrimiento superficial, manteniendo la humedad y evitando pérdidas de suelo. Según Mariño, (2006) la capacidad de campo depende del tipo suelo y la cantidad de agua que ingresa, mientras el punto de marchitez es una característica propia de la planta cuya expresión esta condicionada por las características del suelo.

Según se observa en la Tabla 5, el color del suelo de los tres sitios presentaron matiz 10YR, intensidad y pureza 2/1 tanto en seco como en húmedo, correspondiente a suelos oscuros, similares a la investigación de La Manna, (2005) donde los suelos manifestaron una matiz de 10YR, con luminosidad igual o menor a tres, pureza de uno a dos, indicando colores oscuros.

La profundidad del suelo en Zuleta, San Isidro de Cajas y Achupallas, fue mayor a $1,20$ m, de manera que se consideran suelos muy profundos, esto concuerda con Gerding, Geldres, Moya, (2006) donde los suelos con pino presentaron buenas características de fertilidad en relación con la profundidad y estructura del suelo, lo que favoreció al espacio arraigable de la misma.

Los valores de infiltración determinados en el tiempo de 1 hora con 60 minutos, dan a conocer que existe una variación desde $3,38$ a $3,86$, similar a Gómez, (2011) donde el suelo de arena gruesa, tuvo un flujo de agua mucho mayor que un suelo arcilloso, a pesar de que

la porosidad total del suelo arcillosos sea generalmente mayor que la de un suelo arenoso.

Variables Químicas

Conforme se contempla la Tabla 8, el suelo de Zuleta obtuvo pH ácido, mientras Cajas y Achupallas presentaron un pH ligeramente ácido, presentando similitud con las haciendas de San Joaquín, Santa Ana y Colcas de pH 5,50 a 6,80 que va de ácido, ligeramente ácido a neutro (Vargas, 2012).

La capacidad de intercambio catiónico fue alta en la plantación de Zuleta con 23.64 cmol/kg, en comparación a Cajas y Achupallas; el primero se atribuye al contenido de materia orgánica, que contribuyó a un incremento de las cargas negativas y promovieron un aumento de esta variable (Torres, *et al.*, 2006). El segundo se vio influida por la baja materia orgánica presente en el suelo, que ocasionó un menor intercambio de cationes, similar a lo sucedido en el sistema convencional donde la disminución del contenido de carbono orgánico trajo como consecuencia una reducción en la capacidad de intercambio catiónico (Torres, *et al.*, 2006).

La materia orgánica fueron altos desde 3.09 a 6,99 %, presenciándose para Zuleta y Achupallas una tendencia mayor, mientras para San Isidro de Cajas fue menor; para los dos primeros se debe a los restos de poda presente sobre la superficie del suelo, dado que Torres, *et al.*, (2006) evidenció que la presencia de vegetación dentro del bosque secundario contribuye a disminuir el impacto de las gotas de lluvia, y aumentar los niveles de carbono orgánico.

Macronutrientes

El nitrógeno presentó un valor alto en Zuleta, bajo en San Isidro de Cajas y medio para Achupallas, manteniendo relación con la materia orgánica presente en suelos de las áreas mencionadas; similar al estudio desarrollado en Nueva Zelanda, donde la localidad de Woodhill presentó bajos niveles de nitrógeno en el suelo, mientras que los suelos derivados de esquistos en Sunny Corner mostraron cantidades relativamente altas (Dyck, y Skinner, 1990 mencionado por Turner, & Lambert, 2013).

Para el fósforo, Zuleta y San Isidro de Cajas presentaron porcentajes altos de fósforo, debido a su ubicación en suelos volcánicos jóvenes, con alta estabilidad de reservas de este elemento (Gerding, y Schlatter, 1999).

Los valores para el potasio en Zuleta y San Isidro de Cajas presentaron valores medios de potasio mientras Achupallas demostró un nivel bajo; los resultados de esta última localidad fueron similares al estudio desarrollado en Cuba lugar Sabanalamar por García, (2009) donde los suelos con *Pinus caribea* presentaron bajos contenidos de potasio y fósforo, que lo relacionó con el contenido de arena presente en esta área, similares a la investigación

Las tres áreas investigadas presentaron contenidos altos del elemento calcio, pese a que Achupallas evidenció una variación en menor proporción. De la misma manera el magnesio presentó valores altos para Zuleta y San Isidro de Cajas, mientras Achupallas un valor medio.

El azufre presentó un valor medio para Zuleta, y bajo para San Isidro de Cajas y Achupallas, que es debido a la relación con el contenido de materia orgánica presente en los sitios.

Micronutrientes

En el Gráfico 12, se observa que el cobre presentó concentraciones altas en Zuleta, Cajas y Achupallas, mientras los elementos boro y zinc se evidencian en forma deficiente para las tres áreas investigadas.

El manganeso y hierro, son los únicos elementos que no presentan deficiencia en suelos con *Pinus radiata*, lo cual se debe a los valores de pH de las localidades. Se debe tomar en cuenta que el nitrógeno, el magnesio y el hierro desempeñan un papel clave en la fotosíntesis y funcionamiento de la clorofila (Adriaensen, *et al.*, 2006; mencionado por Jeyakumar, Loganathan, Anderson, Sivakumaran, & McLaren, 2013).

Determinación de la densidad poblacional

El recuento de colonias presentó una reacción positiva correspondiente para cada grupo funcional. Para bacterias fijadores de

nitrógeno todas las colonias presentes en placa, para bacterias celulolíticas y solubilizadoras de fosfato las colonias formadoras de halo.

La densidad promedio de bacterias celulolíticas en medio agar celulosa en la plantación de Zuleta se ubicó en el rango “a” con valores de $1,89 \times 10^5$ UFC/g de suelo, seguido de Achupallas en el rango “b” con $1,69 \times 10^5$ UFC/g de suelo y San Isidro de Cajas en el rango “c” con $7,7 \times 10^4$ UFC/g de suelo; estadísticamente las tres localidades son muy diferentes en función de los rangos establecidos mismos que concuerdan con la prueba de *t* Student que también se aplicó. Los datos anteriores se diferencian de los encontrados en la investigación realizada en Colombia por Lovera y Ramírez (2010), donde se evidenció bacterias celulolíticas en el orden de $6,29 \times 10^6$ UFC/g de suelo en bosque, $6,19 \times 10^6$ UFC/g de suelo en el sistema silvopastoril y $6,18 \times 10^6$ UFC/g de suelo en pastizal.

De igual manera la densidad promedio de bacterias fijadoras de nitrógeno en medio Agar N-Free en Zuleta se encontró en el rango “a” con valor de $2,82 \times 10^4$ UFC/g de suelo, seguida por Achupallas en el rango “b” con $2,71 \times 10^4$ UFC/g de suelo y San Isidro de Cajas en el rango “c” con $2,34 \times 10^4$ UFC/g de suelo, siendo estadísticamente diferentes entre los tres sitios. Estos resultados son similares al estudio efectuado en Colombia por Mahecha, (2011) donde presentó una densidad en el orden de $7,5 \times 10^4$ UFC/g de suelo para plantaciones de *Pinus radiata*; y, de $9,6 \times 10^4$ UFC/g de suelo para bosques subandinos.

Por el contrario, para bacterias solubilizadoras de fósforo (BSP) en Agar Pikovskaya en San Isidro de Cajas se encontró en el rango “a” con $7,5 \times 10^4$ UFC/g de suelo, seguida por Zuleta en el rango “b” con $6,30 \times 10^4$ UFC/g de suelo y Achupallas en el rango “c” con $4,93 \times 10^4$ UFC/g de suelo, siendo estadísticamente diferentes. Estos valores resultaron ser mayores que los encontrados en Colombia por Gómez (2011) donde la densidad de BSP estuvo en un orden de 10^3 UFC/g de suelo en bosques y en plantaciones forestales, la diferencia se explica porque los suelos de Colombia por la textura más arenosa de los suelos objeto de estudio en el ensayo realizado en Colombia.

Incidencia de las propiedades del suelo en las variables dasométricas

El DAP y Ht en plantaciones de *Pinus radiata* fue ligeramente mayor para San Isidro de Cajas, seguida por Zuleta y Achupallas. Se evidenció que la edad y la densidad de la plantación tuvieron influencia en los parámetros dasométricos en análisis. Vásquez, Cetina, Campos y Casal (2016), mencionan que el comportamiento de las variables de crecimiento se modifica conforme aumenta la edad de la plantación. Se demostró que el manejo afecta a la masa forestal, debido que la plantación de Zuleta cuenta con un raleo en consecuencia mayor DAP y Ht que Achupallas de la misma edad.

La temperatura y la precipitación anual de cada localidad presentan variabilidad, lo cual puede ser la causa de cambios en las variables edáficas y dasométricas de las localidades estudiadas. Zuleta y Cajas presentaron el IMA promedio para DAP iguales con 0,014 m/año, seguida por Achupallas con 0,013 m/año. La similitud de Zuleta con San Isidro de Cajas es debido a que ésta cuenta con raleo que aumentó el espaciamiento de la plantación, motivo se presentó similitud con la densidad de San Isidro de Cajas. Se determinó incidencia de la densidad de plantación debido que Achupallas presentó un menor IMA para el DAP.

Los valores de IMA promedio para Ht fueron mayores para Zuleta con 0,86 m/año, seguida por San Isidro de Cajas con 0,80 m/año y finalmente Achupallas con 0,79 m/año; siendo mayores al reportado por Pérez (2014), quien evidenció un IMA promedio para la altura de 0,56 m/año; y menores al obtenido por Pantoja y Vallejo (2013), donde las plantaciones de *Pinus radiata* presentaron IMA promedios de 1,79 m/año, 1,48 m/año, 1,24 m/año y 0,93 m/año, en relación a la luminosidad adquirida de cada localidad. En base a estos resultados se atribuye que la densidad y manejo intervienen.

Influencia de las variables edáficas con las variables dasométricas del árbol

Se desarrolló un análisis de correlación de las variables edáficas con las variables dasométricas del *Pinus radiata*. De los datos dasométricos seleccionados solo la Ht manifestó correlación con las variables edáficas, mientras que el DAP no presentó

correlación alguna con las variables del suelo, debido a que puede estar sostenido por factores de manejo como la densidad de siembra y el raleo.

La Ht presentó una correlación positiva con el elemento fósforo, debido a que este macronutriente esencial permite el crecimiento y desarrollo de las plantas, y su concentración está relacionada con la disolución de suelo (Restrepo, Marulanda, Fe-Pérez, Díaz, Vera, y Hernández, 2015). El aumento en crecimiento se atribuye a mayor disponibilidad de nutrientes, profundidad y agua en los suelos (Pérez, Mansilla, Rodríguez, y Merino, 2011). Este resultado fue prácticamente similar al de Moreno, Castillo, Gama, Zavala, y Ortiz, (2017) en que la altura de los árboles se correlacionó positivamente con las variables materia orgánica, nitrógeno y fósforo, indicando que la altura se incrementa conforme mejoran estas propiedades del suelo.

La Ht se correlacionó positivamente con el magnesio, potasio, calcio, y cobre, debido a que no es frecuente encontrar deficiencias de los elementos mencionados dentro de las masas forestales de *Pinus radiata* (Mead, 2013). Estos elementos son participes de funciones vitales, así: el potasio influye en la fisiología vegetal; el calcio, cobre y boro en la buena formación de la madera de pino (Guevara, Dorkas, y Molina, 2003; Donald, 2013).

No se evidenció un patrón característico entre la correlación de grupos funcionales de bacterias celulolíticas, bacterias fijadoras de nitrógeno y bacterias solubilizadoras de fosfato con la Ht. Esto puede ser debido a que éste último se encuentran relacionada con la densidad de la plantación y manejo silvicultural.

Relación de las propiedades del suelo entre los tres sitios

Para determinar las diferencia entre las variables físicas, químicas y biológicas del suelo entre sitio, se desarrolló la prueba de *t* de Student.

Las fracciones arena, limo y arcilla presentó diferencias altamente significativas entre Achupallas y Zuleta junto a Cajas, esto tiene relación con la clase textural del suelo, debido que Achupallas exhibió una textura

franco arenoso mientras Zuleta y Cajas presentó una textura franca.

Las variables porosidad, densidad aparente y densidad real presentaron diferencias significativas entre Achupallas y Zuleta; ello coincidió con las diferencias significativas ($p < 0.05$) de las variables físicas mencionadas, de las localidades de Sabanalamar en relación con Viñales y Galalón (García, *et al.*, 2009).

La materia orgánica, nitrógeno y zinc presentaron diferencias significativas para los tres sitios, con porcentajes diferentes en cada área, debido a que el nitrógeno y el potasio por su alta movilidad en el suelo, tienden a perderse con mayor facilidad por lixiviación (Guzmán, 1996 mencionado por Borges, *et al.*, 2012).

La capacidad de intercambio catiónico y azufre presentaron diferencias significativas de Zuleta en relación a Cajas y Achupallas, debido a la variación que presentó la materia orgánica en los sitios analizados. Se encontraron diferencias significativas para el fósforo, magnesio, cobre y manganeso entre Zuleta y Cajas frente Achupallas, que se debe a la proporción de estos elementos para cada sitio, puesto que el fósforo, magnesio y calcio poseen baja movilidad y resultan poco afectados por lixiviación a diferencia en suelos arenosos donde la pérdida por este proceso son mayores (Borges, *et al.*, 2012; Lozano, *et al.*, 2012).

La densidad promedio de bacterias celulolíticas, fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato presentó diferencias significativas entre los tres sitios con plantaciones forestales; en el estudio de López, Almonte, Pérez, Sotomayor, y Nuñez, (2014) se halló diferencias en el contenido de bacterias celulolíticas y fijadoras de nitrógeno en los suelos, lo cual relacionó a la disponibilidad de carbono, y a las condiciones de humedad y temperatura de las distintas localidades, y dedujo que a mayor flujo de materia orgánica existe una mayor actividad biológica. Mediante un análisis de correlación se determinó la relación de las variables edáficas entre sitios investigados. Para la porosidad del suelo presentó una correlación altamente negativa con la densidad aparente. La materia orgánica presentó una correlación positiva con el nitrógeno y el azufre; esto se debe a que la materia orgánica del suelo contiene cerca del 5% del nitrógeno total,

pero también contiene otros elementos esenciales para las plantas, tales como fósforo, magnesio, calcio, azufre y micronutrientes (Anónimo, 1988; Graetz, 1997 mencionado por Julca, Meneses, Blas, y Bello, 2006).

La materia orgánica presentó una correlación altamente positiva con la capacidad de campo y el punto de marchitez, que se debe a la clase textural del suelo y al contenido de materia orgánica, que son importantes para determinar la cantidad de agua que los suelos pueden retener, y esta última actúa como una capa que mantiene el agua disponible para las plantas en el interior del suelo (Donahue, 1981 mencionado por Velázquez, sf).

El fósforo presentó una correlación positiva con la arcilla y negativa para la arena, debido a que se evidenció mayor fósforo en suelos franco que en franco arenoso. El fósforo total varía con la textura, pues cuanto más fina la textura mayor su contenido, y como el fósforo orgánico tiende a ser absorbido sobre las arcillas, se podrían esperar contenidos superiores de fósforo en suelos arcillosos que en arenosos o francos (Harrison, 1987; O'Halloran, 1993 mencionado por Arzuaga, Fernández, Dalurzo, y Vásquez, 2005).

El potasio presentó una correlación altamente positiva con la arcilla mientras una correlación negativa con la arena. En el estudio de Guevara, Dorkas, y Molina, (2003) los resultados estuvieron de acuerdo a las diferencias texturales encontradas en las muestras de ambas regiones, debido a que las partículas más finas del suelo fueron las que contenían este reservorio de potasio.

El calcio presentó una correlación altamente positiva con la arcilla, positiva con el fósforo y el potasio, mientras negativa con la arena. En el estudio de Faiyler, Smith, y Wade, (1908) mencionado por Black, (1967) analizaron el contenido de calcio, magnesio, potasio y fósforo en las fracciones de varios suelos y encontraron que el porcentaje para todos ellos fue mayor en la fracción arcilla y menor en la fracción arena.

Hubo una correlación positiva entre el hierro y el manganeso, esto se debe a que estos elementos son metales pesados en estas plantaciones, que según Roca, Pazos, y Bech, (2007) mencionan que hay existencia de artículos que establecen una correlación

significativa y positiva entre los metales pesados disponibles del suelo, principalmente Cu y Zn, y el contenido en carbonatos.

Se obtuvo una correlación alta entre las bacterias celulolíticas con la materia orgánica y nitrógeno, similar al estudio de Lovera, y Ramírez, (2009) también se evidenció una correlación positiva entre las bacterias celulolíticas y la materia orgánica.

La densidad de bacterias fijadoras de nitrógeno presentó una correlación altamente positiva con la materia orgánica y el nitrógeno. Esto es debido a que las BFN solo pueden estar presentes en presencia de nitrógeno, y este elemento se encuentra en grandes cantidades en la materia orgánica, (Flaig, 1971; mencionado por Rodríguez, España, y Cabrera, 2004).

RECOMENDACIONES

Realizar un análisis metagenómico de las poblaciones microbianas para verificar que tipo de microorganismos existen en el hábitat, dado que en esta investigación se logró medir solo las bacterias cultivables.

Considerar la mayor similitud posible en altitud, pendiente, edad y manejo silvicultural de las plantaciones para futuras investigaciones, pues de ello depende la fiabilidad de datos a obtener en los sitios a comparar.

Para futuras investigaciones evaluar la densidad poblacional en plantaciones forestales menores a los diez años, para determinar si los grupos funcionales bacterianos son un indicador temprano en la fertilidad del suelo.

Evaluar la comparación de propiedades físicas, químicas y biológicas en suelos con especies forestales de mayor valor económico, para obtener información de la interacción del suelo con la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arzuaga, S., Fernández, L., Dalurzo, H., y Vásquez, S., (2005) *Fósforo total, fósforo orgánico y fosfatasa ácida, en Entisoles, Alfisoles y Vertisoles de Corrientes con diferentes usos agrícolas*. Universidad Nacional del

- Nordeste.
- Borges, J., Barrios, M., Sandoval, E., Bastardo, E., Bastardo, Y., y Márquez, O., (2012) *Características físico-químicas del suelo y su asociación con macroelementos en áreas destinadas a pastoreo en el estado Yaracuy*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.
- Dimas, J., Díaz, A., Martínez, E., y Valdez, R., (2001) *Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Sistema de Información Sistemática*.
- García, Y., Flores, J., Geada, J., Escarré, A., Castillo, I., y Medina, M., (2009). *Relación entre atributos ecofisiológicos de la especie vulnerables Pinus caribaea Morelet var. caribaea y características ambientales de ocho localidades en Pinar del Río, Cuba*. Cuba. Universidad de Alicante.
- Gerding, V., Geldres, E., y Moya, J., (2006) *Diagnóstico del desarrollo de Pinus massoniana y Pinus brutia establecidos en el arboreto de la Universidad Austral de Chile, Valdivia*. Valdivia-Chile. Universidad Austral de Chile.
- Gerding, V., y Schlatter, J., (1999). *Estabilidad nutritiva de plantaciones de Pinus radiata D. Don en cinco sitios característicos de la VII Región*. Valdivia-Chile. Universidad Austral de Chile.
- Gómez, M. (2011). *Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos*. Trabajo de Investigación.
- Guevara, A., Dorkas., y Molina, N., (2003). *Contenidos y formas de potasio en suelos cultivados de Tucuman*. Avances de producción vegetal y animal en el NOA.
- Ibañez, S., Gisbert, J., & Héctor, M. (2010). *El Color del Suelo*. España. Universidad Politécnica de Valencia.
- Jaramillo, C., (2001). *Dasometría*. Ibarra-Ecuador. Universidad Técnica del Norte.
- Jeyakumar, P., Loganathan, P., Anderson, C., Sivakumaran, S., & McLaren, R., (2013). *Comparative tolerance of Pinus radiata and microbial activity to copper and zinc in a soil treated with metal-amended biosolids*. Berlín. Massey University.
- Julca, A., Meneses, L., Blas, R., y Bello, S., (2006). *La materia orgánica, importancia y experiencia de su uso en la agricultura*. Idesia (Arica).
- La Manna, L., (2005). *Caracterización de los suelos bajo bosque de Austrocedrus chilensis a través de un gradiente climático y topográfico en Chubut, Argentina*. Argentina. Centro de Investigación y Extensión Forestal.
- López, G., Almonte, I., Pérez, A., Sotomayor, D., y Nuñez, P., (2014) *Caracterización Biológica de suelos y sustrato empleados en la producción de vegetales en invernaderos*. Ciencia del Suelo.
- Lovera, M., y Ramírez, N., (2009) *Comparación de la densidad de hongos y bacterias celulolíticas entre algunos usos del suelo (Departamento de Córdoba)*. Bogotá DC-Colombia. Pontificia Universidad Javeriana.
- Lozano, Z., Hernández, R., Bravo, C., Rivero, C., Toro, M., y Delgado, M., (2012) *Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización*. Venezuela. Universidad Central de Venezuela.
- Mahecha, S. (2011). *Comparación de la Densidad y Actividad Bacteriana Fijadora Libre De Nitrógeno entre tres usos de suelo (Cuenca del Otún, Risaralda)*. Colombia. Pontificia Universidad Javeriana.
- Mead, J., (2013) *Sustainable management of Pinus radiata plantations*. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- Merino, A., Rey, C., Brañas, J., & Rodríguez, R., (2003). *Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de Pinus radiata D. Don Galicia*. Escuela Politécnica Superior.
- Moreno, V., Castillo, O., Gama, L., Zavala, J., y Ortiz, M., (2017). *Relación de vegetación ribereña y propiedades del suelo en un afluente del río Tacotalpa, Tabasco, México*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Muñoz, D., Ferreira, M., Escalante, I., y López, J., (2013). *Relación entre la cobertura del terreno y la degradación física y biológica de un suelo aluvial en una región semiárida*. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.
- Murray, R., Bojórquez, J., Hernández, A., Orozco, M., García, J., Gómez, R., Ontiveros, H., y Aguirre, J., (2001). *Efecto de la materia orgánica sobre las propiedades físicas del suelo en un sistema agroforestal de la llanura costera norte de Nayarit, México*. México. Universidad Autónoma de Nayarit.
- Pantoja, L., y Vallejo, E., (2013) *Identificación de la calidad de sitio en una plantación de Pinus radiata D. Don, en el cantón Ibarra, parroquia Angochagua, sector hacienda la Merced*. Universidad Técnica del Norte. Ibarra-Ecuador.
- Pérez, C., Mansilla, P., Rodríguez, R., y Merino, A., (2011). *Influence of tree species on carbon sequestration in afforested pastures in a humid temperate region*.
- Pérez, M., (2014) *Efecto de la poda en el crecimiento dendrométrico de cuatro especies forestales: Cedro Cedrela montana Moritz ex Turcz, Aliso Alnus acuminata HBK, Sangre de Drago Croton sp y Pino Pinus radiata D. Don, en y sin asocio con uvilla Physalis peruviana L.* Universidad Técnica del Norte. Ibarra- Ecuador.
- Restrepo, G., Marulanda, S., Fe-Pérez, Y., Díaz, A., Vera, L., y Hernández, R., (2015). *Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso de promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica*. Revista CENIC Ciencias Biológicas.
- Roca, N., Pazos, M., y Bech, J., (2007). *Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos de NO argentino*. Argentina. Universidad Nacional de la Provincia de Buenos Aires.
- Rodríguez, B., España, M., y Cabrera, E., (2004) *Propiedades químico estructurales de la materia orgánica del suelo en un agro sistema de los llanos centrales venezolanos bajo diferentes prácticas de manejo*. Venezuela. Universidad Central de Venezuela.
- Torres, D., Rodríguez, N., Yendis, H., Florentino, A., y Zamora, F., (2006). *Cambios en algunas propiedades químicas del suelo según el uso de la tierra en el sector del Cebollal, estado Falcón, Venezuela*. Venezuela. Bioagro. Revista el semillero.
- Turner, J., & Lambert M., (2013). *Analysing inter-rotational productivity and nutrition in a New South Wales radiata pine plantation*. Australia. New Forests.
- Vargas, C., (2012). *Caracterización físico-química de suelos en plantaciones de Pinus radiata en ACOSA, parroquia Lasso, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi*. Riobamba-Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Vásquez, I., Cetina, V., Campos, R y Casal, L., (2016) *Evaluación de plantaciones forestales en tres comunidades de la mixteca alta Oaxaqueña*. Postgrado en Ciencias Forestales campus Montecillo Colegio de Post graduados. México.
- Velázquez, J., (sf). *Determinación de la calidad de sitio para el Pinus pátula en la cooperativa Atahualpa Jerusalén granja Porcón-Cajamarca*. Perú.