



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

**Trabajo de titulación presentado como requisito previo a la obtención del
título de Ingeniero Forestal**

**“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

DIRECTORA

Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez, MSc.

IBARRA - ECUADOR

2017

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL

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

Trabajo de titulación revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza la presentación
como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADO

Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez, Mgs.
Directora de trabajo de titulación



Ing. María Isabel Vizcaíno Pantoja, Mgs.
Tribunal de trabajo de titulación



Ing. María Cristina Echeverría De Labastida, PhD
Tribunal de trabajo de titulación



Blgo. Jhonn James Rodríguez Echeverry, PhD.
Tribunal de trabajo de titulación



Ibarra - Ecuador

2017



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
Cédula de ciudadanía:	1004377881
Apellidos y nombres:	Cáceres Alvarán Hernán David
Dirección:	Calle Atahualpa entre Imbabura
Email:	cacereshdavid@hotmail.com
Teléfono fijo:	2 946 070
Teléfono móvil:	0969983551

DATOS DE LA OBRA	
Título:	“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO EN PLANTACIONES DE <i>Pinus radiata</i> , EN TRES SITIOS DE LA REGION SIERRA ECUATORIANA ”
Autor:	Hernán David Cáceres Alvarán
Fecha:	18/09/2017
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
Programa:	Pregrado
Título por el que opta:	Ingeniero Forestal
Directora:	Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez.

2. AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Hernán David Cáceres Alvarán, con cédula de ciudadanía Nro. 100437788-1; en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago la entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior, Artículo 144.

3. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló sin violar derechos de autor de terceros; por lo tanto la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 18 de septiembre del 2017

EL AUTOR:



Hernán David Cáceres Alvarán

C.I.: 100437788-1

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Hernán David Cáceres Alvarán, con cédula de ciudadanía Nro. 100437788-1; manifiesto la voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de titulación denominado **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata*, EN TRES SITIOS DE LA REGION SIERRA ECUATORIANA”**, que ha sido desarrollada para optar por el título de Ingeniero Forestal en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "David Cáceres", is written over a horizontal dotted line.

Hernán David Cáceres Alvarán

C.I.: 100437788-1

Ibarra, a los 18 días del mes de septiembre del 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. 103 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

DEDICATORIA

A mis padres, quienes me brindaron su apoyo incondicional a todo momento, guiándome por el camino del bien y respaldándome en los momentos difíciles.

A mis maestros que compartieron sus valiosas informaciones en mi formación académica, profesional y humanística.

A todas las personas involucradas dentro de este trabajo de investigación quienes fueron muy gentiles y amigables a todo momento.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mi directora de Trabajo de titulación, Ing. Gladys Yaguana, por su paciencia y predisposición en los momentos requeridos, a mis asesores; Ing. Maria Vizcaíno, Dra. María Cristina Echeverría y Dr. James Rodríguez quienes con su valioso conocimiento permitieron el desarrollo de esta investigación.

A la Ing. Tania Oña y sus ayudantes de cátedra Lenin, Rodrigo, Evelyn y Anita, quienes me permitieron formar parte del LABINAMB.

A los propietarios de las haciendas con plantaciones *Pinus radiata*, grandes personas que muy amablemente me permitieron el uso de los sitios para el desarrollo del estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Págs.
HOJA DE APROBACIÓN DEL COMITÉ ASESOR	II
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	III
CESIÓN DE DERECHOS DEL AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN; ERROR! MARCADOR NO	
REGISTRO BIBLIOGRÁFICO	;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VIII
ÍNDICE DE CONTENIDOS	IX
ÍNDICE DE TABLAS	XII
INDICE DE GRÁFICOS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 General	2
1.1.2 Específicos	2
1.2 Hipótesis	2
1.2.1 Hipótesis nula	2
1.2.2 Hipótesis alterna	2
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1 Fundamentación legal	3
2.2 Fundamentación teórica	4
2.2.1 Propiedades del suelo	4
2.2.1.1 Propiedades físicas	4
2.2.1.2 Propiedades químicas	6
2.2.1.3 Propiedades biológicas	8
2.2.2 Suelos adecuados para coníferas	10
2.2.4 Relación de las propiedades del suelo con el DAP y Ht	11

2.2.5 Investigaciones relacionadas con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en plantaciones forestales.....	11
2.2.5.1 Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos	11
2.2.5.2 Grupos funcionales de microorganismos en suelos de páramo perturbado por incendios forestales	12
 CAPÍTULO III.....	 13
 MATERIALES Y MÉTODOS	 13
3.1 Ubicación de los sitios	13
3.1.1 Zuleta	13
3.1.2 San Isidro de Cajas	13
3.1.3 Achupallas	13
3.3 Materiales y equipos	14
3.3.1 Materiales.....	14
3.3.1.1 Fase de campo	14
3.3.1.2 Fase de laboratorio	14
3.3.2 Equipos.....	14
3.3.2.1 Fase de campo	14
3.3.2.2 Fase de laboratorio	15
3.4 Metodología	16
3.4.1 Área de estudio	16
3.4.2 Muestreo de suelos	16
3.5 Características físicas y químicas del suelo	17
3.5.1 Variables físicas.....	17
3.5.1.1 Color.....	18
3.5.1.2 Profundidad efectiva.	18
3.5.1.3 Infiltración básica.....	18
3.5.2 Variables químicas.....	18
3.6 Determinación de las variables biológicas.....	18
3.6.1 Recuento de la densidad poblacional de grupos funcionales bacterianos.....	19
3.6.1.1 Recuento en placa de grupos funcionales de bacterias celulolíticas.....	19
3.6.1.2 Recuento en placa de grupos funcionales de bacterias fijadoras de Nitrógeno	19
3.6.1.3 Recuento en placa de grupos funcionales de bacterias solubilizadores de fosfato.....	19
3.6.2 Obtención de la densidad poblacional de los grupos funcionales bacterianos.....	20
3.7 Incidencia de las propiedades edáficas en las variables dasométricas de Pinus radiata.	20
3.7.1 Obtención de las variables dasométricas.....	20
3.7.1.1 Inventario	20
3.7.2 Incidencia de las variables edáficas en las variables dasométricas	21
3.8 Análisis estadístico.....	21
 CAPÍTULO IV.....	 23
 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	 23
4.1 Características de los rodales seleccionados.....	23
4.1.1 Zuleta	23
4.1.2 Cajas.....	23
4.1.3 Achupallas.....	23

4.2 Descripción de las propiedades físicas y químicas del suelo.....	24
4.2.2 Variables Químicas.....	29
4.2.2.4 Macronutrientes	31
4.2.2.5 Micronutrientes	35
4.3 Determinación de la densidad poblacional	38
4.3 Incidencia de las propiedades del suelo en las variables dasométricas	40
4.3.1 Resultados de DAP y Ht promedio	40
4.3.2 Incidencia de las variables edáficas con las variables dasométricas del árbol	42
4.5 Relación de las propiedades del suelo entre los tres sitios.....	44
 CAPÍTULO V	 51
 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	 51
5.1 Conclusiones	51
5.2 Recomendaciones	52
 ÍNDICE DE ABREVIATURAS	 53
 CAPÍTULO VI.....	 54
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	 54
 CAPÍTULO VII	 61
 ANEXOS	 61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Referencias de las áreas experimentales seleccionadas	16
Tabla 2. Resultados de las variables agrupadas	22
Tabla 3. Textura de suelo de las áreas investigadas.....	24
Tabla 4. Color del suelo	27
Tabla 5 Profundidad efectiva del suelo.....	28
Tabla 6. Infiltración básica del suelo	29
Tabla 7. Ph de las áreas investigadas	29
Tabla 8. Densidad de grupos funcionales bacterianos	38
Tabla 9. Resultados zuleta, cajas y achupallas.....	40
Tabla 10. Prueba t de Student	44

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Muestreo de suelos.....	17
Gráfico 2. Densidad real densidad aparente.....	25
Gráfico 3. Porosidad	26
Gráfico 4. Capacidad de campo y punto de marchitez	27
Gráfico 5. Capacidad de intercambio catiónico	30
Gráfico 6. Materia orgánica	31
Gráfico 7. Nitrógeno	32
Gráfico 8. Fósforo	32
Gráfico 9. Potasio.....	33
Gráfico 10. Calcio y magnesio.....	34
Gráfico 11. Azufre	35
Gráfico 12. Cobre.....	35
Gráfico 13. Zinc y boro.....	36
Gráfico 14. Manganeso y hierro	37
Gráfico 15. Correlación Ht y fósforo	42
Gráfico 16. Correlación entre altura total (Ht) Y potasio junto a calcio, cobre, y magnesio.	43
Gráfico 17. Correlación entre densidad aparente y porosidad	46
Gráfico 18. Correlación entre materia orgánica y nitrógeno junto azufre	46
Gráfico 19. Correlación entre materia orgánica y capacidad de campo junto a punto de marchitez.....	47
Gráfico 20. Correlación entre fósforo junto arcilla.....	47
Gráfico 21. Correlación entre potasio y arcilla junto a arena	48
Gráfico 22. Correlación calcio y arcilla junto arena, fósforo y potasio	49
Gráfico 23. Correlación entre hierro y manganeso	49
Gráfico 24. Correlación entre bacterias celulolíticas y materia orgánica junto a nitrógeno ...	50
Gráfico 25. Correlación entre bacterias fijadoras de nitrógeno y materia orgánica junto nitrógeno	50

TITULO: “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.

Directora de trabajo de titulación: Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez, Mgs.

Año: 2017

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.

TITLE: "EVALUATION OF PHYSICAL, CHEMICAL AND BIOLOGICAL SOIL PROPERTIES OF *Pinus radiata*, IN THREE SITES OF THE SIERRA REGION ECUATORIAN"

Author: Hernán David Cáceres Alvarán

Director of work degree: Ing. Gladys Neri Yaguana Jiménez

Year: 2017

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.

CAPITULO I

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.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

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, Cajas y Achupallas) para establecer su variabilidad.

1.1.2 Específicos

- 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.
- Determinar la relación de las variables edáficas físicas, químicas y biológicas entre las tres plantaciones de *Pinus radiata*, ubicadas en distintos sitios.

1.2 Hipótesis

1.2.1 Hipótesis nula

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo son similares en las tres plantaciones de *Pinus radiata*, y no inciden en los parámetros DAP y Ht de la masa forestal.

1.2.2 Hipótesis alterna

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo son diferentes en al menos una de las tres plantaciones de *Pinus radiata*, e inciden en los parámetros DAP y Ht de la masa forestal.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Fundamentación legal

2.1.1 Plan Nacional para el Buen Vivir (PNBV) 2013-2017

El presente estudio se enmarca en el objetivo, política y lineamientos estratégicos siguientes:

Objetivo 7 del Plan Nacional para el Buen Vivir: Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental, territorial y global.

Política y lineamiento estratégico 7.2 del Plan Nacional para el Buen Vivir: Conocer, valorar, conservar y manejar sustentablemente el patrimonio natural y su biodiversidad terrestre, acuática continental, marina y costera, con el acceso justo y equitativo a sus beneficios, **literal m:** Fomentar la investigación y los estudios prospectivos sobre el uso sustentable y la conservación de la biodiversidad terrestre, acuática y marino-costera.

Política y lineamiento estratégico 7.3 del Plan Nacional para el Buen Vivir: Consolidar la gestión sostenible de los bosques, enmarcada en el modelo de gobernanza forestal, **literal f:** Fortalecer el sistema de información forestal y promover la investigación para identificar y cuantificar el patrimonio forestal como base para la toma de decisiones respecto a su conservación y manejo.

(Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo [SENPLADES], 2013-2017, págs. 221, 233, 234, 235)

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Propiedades del suelo

El suelo es un sistema dinámico en el cuál ocurren cambios y transformaciones constantes, producto de la interacción de procesos físicos, químicos y biológicos; estos procesos ocurren de forma simultánea y producen al final un sustrato, el cuál brindará nutrientes, agua y sostén a las plantas y otros organismos (Lechón, 2014). Estas interacciones entre las variables del suelo con las comunidades vegetales son múltiples, así la presencia de crecimiento de plantas influyen en el número y actividades de sus diversos componentes microbianos (Binkley & Giardina, 1998 mencionado por Gómez, 2011; Farnández *et al.*, 2006).

Los cultivos forestales, por los largos ciclos que utilizan, producen sobre el suelo un impacto muy distinto al de los cultivos anuales, no solo por las amplias acumulaciones de biomasa, sino también por su extenso sistema radicular que les permite explorar zonas más profundas del suelo (Afif, Canga, Gorgoso, & Cámara, 2008).

2.2.1.1 Propiedades físicas

2.2.1.1.1 Textura

Representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo; arena gruesa, arena media, arena fina, limo y arcilla. Un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición (Rucks, *et al.*, 2004).

2.2.1.1.2 Porosidad

Tiene importancia en la regulación de la aireación y la dinámica del agua en el suelo, y es condicionada por las variables textura y estructura del suelo. El volumen de poros del suelo puede expresarse en porcentaje del volumen total de huecos (Jordán, 2006).

2.2.1.1.3 Densidad real

Es la densidad de la fase sólida del suelo, con valores constantes en su mayoría, y oscila en torno a 2.65 g/cm^3 . La posible variación de la densidad real del suelo se debe normalmente a la variación de la cantidad de materia orgánica (Jordán, 2006). No proporciona información acerca de los procesos físicos del suelo, sin embargo, es un valor muy útil que participa en el cálculo de propiedades del suelo como la porosidad y la distribución del tamaño de las partículas (Flores y Alcalá, 2010).

2.2.1.1.4 Densidad aparente

Está representada por la masa que contiene un suelo por unidad de volumen, incluyendo su espacio poroso; se relaciona directamente con la composición mecánica, el contenido de materia orgánica, el contenido de fragmentos de roca y la estructura del suelo (Donald, y Deyanira, 2006). Es un parámetro importante para la descripción de la calidad del suelo y función del ecosistema (FAO, 2009).

La densidad aparente refleja el contenido total de poros en un suelo y es importante para el manejo de los suelos, debido a que refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire, además permite hacer deducciones sobre las posibilidades de emergencia y enraizamiento de las plantas (Donald, y Deyanira, 2006).

2.2.1.1.5 Capacidad de campo

La capacidad de campo (CC) de un suelo representa la cantidad máxima de agua que puede ser retenida en un suelo en contra de la fuerza de gravedad (Flores & Alcalá, 2010). Los suelos contienen diferente cantidad de agua dependiendo de su textura y estructura. Se denomina al límite superior de almacenamiento de agua (Zotarelli, Dukes, y Morgan, 2013).

2.2.1.1.6 Profundidad efectiva

Es la profundidad a la cual pueden llegar las raíces de las plantas en un suelo, sin ningún tipo de obstáculos (físicos o químicos). Es una de las propiedades más importantes a tener en cuenta cuando se quiere decidir qué cultivo sembrar (Cock, Álvarez, y Estrada, 2010).

2.2.1.1.7 Color

El color es un carácter del suelo, fácil de observar y de uso cómodo para identificar un tipo de suelo dentro del cuadro regional o local. Las principales sustancias que confieren al suelo su color son el humus, compuestos minerales como los óxidos, sulfuros, sulfatos, carbonatos (Rucks, *et al.*, 2004).

2.2.1.1.8 Infiltración del agua

Se define como la entrada de agua hacia abajo, en la totalidad o parte del suelo. Numerosos estudios han demostrado que la infiltración de los suelos puede ser un buen indicador de la calidad y la salud del suelo (Gómez, Cerrón, Capcha, & Villavicencio, 2014).

2.2.1.2 Propiedades químicas

Las propiedades químicas del suelo, constituye aquella parte de la ciencia del suelo que estudia la composición, las propiedades y las reacciones químicas de los suelos. Los esfuerzos mayores de aplicación de esta parte de la ciencia del suelo han estado dirigidos a tratar de explicar y resolver problemas relacionados con la dinámica de los nutrientes vegetales y con la fertilidad del suelo (Jaramillo, 2002).

El efecto químico sobre el suelo de un bosque es el resultado del balance nutritivo de todo el ecosistema (Schlatter, & Otero, 1995).

2.2.1.2.1 Potencial hidrógeno (pH)

El pH es la medida de acidez o basicidad de una solución. Es una propiedad que tiene influencia indirecta en los procesos químicos, disponibilidad de nutrientes, procesos biológicos y actividad microbiana (Beltrán, & Lizarazo, 2013).

Tres condiciones son posibles: acidez, neutralidad, y alcalinidad (Buckman, & Brady, 1966 citado por Huerta, 2010). La acidez superficial puede servir como indicador de la fertilidad del suelo e indirectamente de la cantidad de fósforo disponible (Afif, *et al.*, 2008).

El pH de las especies coníferas debe estar entre 5.5 y 6.5, un pH por abajo o por arriba de estos rangos puede causar problemas en la germinación y en el crecimiento de la planta (Peñuelas, & Ocaña, 1996 mencionado por Sánchez, Aldrete, Cetina, y López, 2007).

2.2.1.2.2 Capacidad de intercambio catiónico

Capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, en relación con el contenido de arcillas. Las arcillas están cargadas de iones negativos, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas tienen una alta capacidad de intercambio catiónico (Medina, Sánchez y Vásquez, 2011).

Los suelos con elevada capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico tienen una influencia positiva en la productividad (Gandullo, & Sánchez, 1994 citado por Sánchez, y Rodríguez, 2002).

2.2.1.2.3 Macronutrientes y micronutrientes

La relación entre las propiedades del suelo y el estado nutricional de las especies depende en gran medida de factores como el clima, el tipo de suelo y las prácticas de gestión. La escasez de nutrientes puede limitar la producción forestal porque bajo condiciones naturales la disponibilidad de nutrientes es siempre limitada y las entradas externas son raras (Eimil, Sánchez, y Rodríguez, 2012).

Entre los trece elementos esenciales, seis se clasifican como macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) los cuales son usados por las plantas en cantidades relativamente grandes y siete micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Cl, Mo) que son requeridos en cantidades muy pequeñas (Eimil, *et al.*, 2012).

Los requerimientos nutricionales varían dependiendo de la especie considerada. Las coníferas generalmente se desarrollan bien en sitios menos fértiles, con baja disponibilidad de fósforo (Ballard, 1980 mencionado por Eimil, *et al.*, 2012).

2.2.1.2.4 Contenido de materia orgánica

La materia orgánica del suelo constituye la fracción orgánica que incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo así como sustancias producidas por los organismos del suelo (Bornemisza, 1982 citado por Huerta, 2010).

La descomposición de la materia orgánica en el suelo constituye un proceso clave en el ciclo de los nutrientes, estando las comunidades microbianas y la actividad biológica del suelo íntimamente vinculadas a dichos ciclos (Ushio, *et al.*, 2008 mencionado por Efron, Starti, Quinteros, & Catán, 2012). Las propiedades de la materia orgánica del suelo son influenciadas por el clima, la topografía, el material parental, la vegetación y el tiempo (Jenny, 1961 mencionado por La Manna, Buduba, Alonso, Davel, Puentes, y Irisarri, 2007).

2.2.1.3 Propiedades biológicas

Los procesos biológicos y los microorganismos involucrados en éstos, que mantienen la estructura y fertilidad del suelo, son potencialmente más sensibles a cambios que las propiedades físicas o químicas (Pankrust, *et al.*, 1997 citado por Varela, Aguilera, Vélez, & Flórez, 2010).

La sensibilidad de los grupos bacterianos a cambios en las condiciones ambientales del suelo, es lo que ha hecho viable su utilización como indicadores de la productividad y sustentabilidad del mismo (Flórez, 2010).

2.2.1.3.1 Grupos funcionales bacterianos

El estudio de microorganismos de manera específica puede ser muy difícil, ya que un puñado de suelo puede contener más de 10 000 millones de bacterias pertenecientes a cientos de especies, por lo que un enfoque apropiado para estudiar las comunidades bacterianas del suelo es a través del estudio de grupos funcionales (Gómez, 2011).

Las bacterias están fuertemente involucradas en los ciclos de nutrientes esenciales como el carbono, el nitrógeno y el fósforo. En el ciclo del carbono las bacterias celulolíticas, en el ciclo del nitrógeno las bacterias fijadoras de nitrógeno y en el ciclo del fósforo los microorganismos solubilizadores de fosfato que varía según el tipo de suelo (Gómez, 2011).

2.2.1.3.2 Grupos funcionales bacterianos asociados al ciclaje de nutrientes del Carbono

Los estudios de los microorganismos que usan celulosa como sustrato resultan interesantes dada la importancia que tiene este compuesto como constituyente de los restos vegetales que se incorporan al suelo (Martínez et al., 2001 mencionado por Díez y Montoya, 2009). Los organismos capaces de degradar celulosa, se encuentran distribuidos entre: hongos filamentosos y bacterias constituyendo un grupo funcional diverso e importante desde el punto de vista ecológico (Martínez et al., 2001 citado por Díez y Montoya, 2009). El aislamiento e identificación de microorganismos encargados de la degradación de celulosa representan un importante recurso para lograr la disminución del impacto ambiental y la generación de un sustrato fermentable cuya utilidad tienen varios usos (Gaitán, y Pérez, 2007).

2.2.1.3.3 Grupos funcionales bacterianos asociados al ciclaje de nutrientes del Nitrógeno

Las bacterias fijadoras de nitrógeno más eficaces son aquellas que se asocian con las plantas y por medio de estructuras diferenciadas producidas por la planta hospedera, llamados nódulos, donde se localizan desarrollando una verdadera simbiosis con la planta (Eugenia, Soto & Pardo, 2000). Los microorganismos que llevan a cabo el proceso de fijación del nitrógeno representa aproximadamente el 5% de la población bacteriana total y se encuentran en la superficie de varios órganos de los árboles, tejidos radiculares y foliares, suelo y tubérculos de ectomicorrizas (Fisher y Binkley 2000; Chanway 1999 et al., 2002, Paul et al., 2007 mencionado por Jaramillo y Martínez, 2009).

El nitrógeno se encuentra en diferentes formas en el suelo y es el elemento más susceptible a ser transformado por acción de los microorganismos (Navarro y Navarro, 2003 mencionado por Mahecha, 2011). Este proceso se lleva a cabo exclusivamente por microorganismos que tienen la capacidad de reducir el nitrógeno atmosférico N_2 , a amonio

NH₄, que puede ser utilizado por las plantas, contribuyendo a la mejora y productividad (Mantilla, Cardona, Peña, Murcia, Rodríguez & Zambrano, 2009).

2.2.1.3.4 Grupos funcionales bacterianos asociadas al ciclaje de nutrientes del Fósforo

El fósforo después del nitrógeno, es el nutriente inorgánico más requerido por plantas y microorganismos y además, en el suelo es el factor limitante del desarrollo vegetal a pesar de ser abundante tanto en formas inorgánicas como orgánicas (Alexander, 1980 mencionado por Fernandez, Zalba, Gómez, & Sagardoy, 2005).

Los compuestos inorgánicos insolubles de fósforo no están totalmente disponibles para las plantas y la disponibilidad depende del pH del suelo, porque solo pueden ser tomados como ión ortofosfato, pero éstos pueden convertirse, por bacterias solubilizadoras de fósforo, en fosfatos di y monobásicos, formas asimilables para las raíces de las plantas (Díaz *et al.*, 2001 mencionado por Bobadilla & Rincón, 2008). Una forma de movilizar el fósforo insoluble del suelo es a través de la participación de microorganismos que tienen la capacidad de solubilizar fósforo. Algunos producen ácidos orgánicos, lo que permite solubilizar el fosfato insoluble (Guzmán, 2011).

2.2.2 Suelos adecuados para coníferas

Pinus radiata se ha plantado en una considerable extensión de sitios en el Ecuador y las variaciones de altura son significativas de un lugar a otro. Los sitios están todos ubicados en la Sierra a 2500-3600 msnm. Los suelos tienen una semejanza genérica por cuanto todos ellos provienen de sucesivos estratos de ceniza volcánica, sobre los que ha crecido vegetación (A.D. Miller, 1974). En la zona climática más favorable en la región, la producción varía de manera importante entre las diferentes plantaciones, lo que se relaciona con el estado nutricional de las masas y las propiedades de los suelos (Sánchez, & Rodríguez, 2002 citado por Merino, Rey, Brañas, & Rodríguez, 2003).

MAGAP (2013) afirma que los requerimientos edáficos del *Pinus radiata* es un suelo franco arenoso, con un buen drenaje, con pH neutro ligeramente ácido, exigente en Fósforo, Boro y Zinc.

2.2.4 Relación de las propiedades del suelo con el DAP y Ht

La forma de los árboles se ve afectada por factores fundamentales como nutrientes del suelo, condiciones ambientales, conducción del agua por el fuste, factores genéticos, entre otros (Jaramillo, 2011). En los sistemas forestales los árboles desarrollan un papel esencial debido a su capacidad para modificar las propiedades del suelo y los ciclos de nutrientes (Finzi *et al.*, 1998 mencionado por Arana, Perales, Pérez, Ibáñez, Domínguez, García y Gómez, 2012).

El aporte de agua y minerales, la cantidad y proporción de los diferentes elementos nutritivos, macronutrientes y micronutrientes, y el soporte físico del suelo son contribuciones esenciales que permiten el desarrollo de los árboles (Trujillo, 2014).

2.2.5 Investigaciones relacionadas con las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en plantaciones forestales

A continuación se detallan investigaciones de diferentes autores que se relacionan con el trabajo de titulación ejecutado, los cuales permitirán realizar una discusión de los resultados obtenidos en este trabajo.

2.2.5.1 Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos

Gómez, (2011) en este estudio comparó algunas propiedades edáficas entre bosques secundarios subandinos y plantaciones forestales de pino y, dos procesos ecosistémicos: la productividad sobre el suelo y la descomposición. Determinó la densidad, riqueza de morfotipos y actividad en medio de cultivo de los grupos funcionales bacterianos: bacterias celulolíticas (BC), proteolíticas (BP), fijadoras de nitrógeno (BFN) y solubilizadoras de fosfato (BSP). También determinó la humedad, la densidad aparente, el pH, la cantidad de materia orgánica, de C, N y P disponible, la textura y la distribución de agregados del suelo.

2.2.5.2 Grupos funcionales de microorganismos en suelos de páramo perturbado por incendios forestales

Beltrán y Lizarazo, (2013) realizaron un diagnóstico microbiológico de suelos para evaluar el efecto de la quema sobre estos grupos cultivables de microorganismos. También efectuaron el mismo diagnóstico en un suelo sin perturbar de la misma zona que se asumiría como control. Evaluaron algunas poblaciones de bacterias cultivables implicadas en los ciclos del C, N y P por el método de recuento en placa estándar utilizando medios de cultivo selectivos. En general, las poblaciones microbianas cultivables nativas implicadas en el ciclado de nutrientes registraron valores de Log UFC/g de suelo similares en los dos tipos de suelos en estudio ($p>0,05$) a excepción de las poblaciones de bacterias proteolíticas y de bacterias solubilizadoras de fosfato

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Ubicación de los sitios

La investigación se desarrolló en tres sitios.

3.1.1 Zuleta

El sitio se encuentra ubicado en la provincia de Imbabura, cantón San Miguel de Ibarra, parroquia de Angochagua, sector Zuleta, hacia $78^{\circ} 02' 59''$ de longitud W, $00^{\circ} 12' 00''$ latitud N, a una altitud de 3400 msnm, con una precipitación media anual de 1200 mm, y una temperatura de 13°C (Plan de Ordenamiento Territorial Angochagua [PDOTA], 2015). El rodal de estudio forma parte de la Hacienda Zuleta y Anexas, y limita al norte con la comunidad de La Magdalena, al sur con la comunidad Chilco, al este con la comunidad Cochas y al oeste con las comunidades de Yanajaca.

3.1.2 San Isidro de Cajas

El lugar está situado en la provincia de Pichincha, cantón San Pedro de Cayambe, parroquia Ayora, sector San Isidro de Cajas, en dirección a $78^{\circ} 18' 33''$ de longitud W, $00^{\circ} 13'33''$ latitud N, a 3250 msnm, con precipitación media mensual de 68,5 mm, y una temperatura media anual de $873,23^{\circ}\text{C}$, (Plan de Ordenamiento Territorial Ayora [PDOTA], 2015). La masa forestal de estudio pertenece a la Hacienda Catacoopamba, y limita al norte con la comunidad de Cajas, al sur con la comunidad San Francisco de la Compania, al este con la comunidad de San Esteban y al oeste con la comunidad de Cajas Jurídica.

3.1.3 Achupallas

La localidad está asentada en la provincia de Imbabura, cantón San Luis de Otavalo, parroquia Quichinche, sector Achupallas, en sentido a $78^{\circ} 49' 75''$ de longitud W, $00^{\circ} 11'37''$ latitud N, ante 3200 msnm, con precipitación media anual de 1300 mm, y una

temperatura media anual de 12,5 °C, (Plan de Ordenamiento Territorial Quichinche [PDTQ], 2015). El plantío de pino corresponde a la Hacienda La Toma, y limita al norte con la comunidad de Urcusiqui, al sur con la comunidad de Cambugán, al este con la quebrada de Ugshapungu y al oeste con la comunidad de Muenala.

3.3 Materiales y equipos

3.3.1 Materiales

3.3.1.1 Fase de campo

- Pala recta.
- Espátula
- Fundas plásticas con cierre hermético.
- Cinta métrica.
- Cinta métrica topográfica.
- Sprite.
- Útiles de escritorio.

3.3.1.2 Fase de laboratorio

- Cajas Petri.
- Tubos de ensayo.
- Probeta.
- Papel kraft.
- Papel aluminio.
- Imán para agitador magnético.
- Botella de vidrio transparente tapa rosca azul (Autoclave)-1000ml.

3.3.2 Equipos

3.3.2.1 Fase de campo

- Cámara fotográfica.
- Navegador GPS.

3.3.2.2 Fase de laboratorio

- Autoclave de esterilización.
- Balanza analítica.
- Cámara de flujo laminar.
- Mechero bunsen.
- Refrigeradora.
- Incubadora.
- Agitador magnético con placa caliente.
- Estufa de esterilización y secado.
- Computador.
- Clinómetro

3.3.2.3 Reactivos

- Agar Bacto
- Agua destilada
- Carbonato de calcio
- Celulosa
- Cloruro de sodio
- Cloruro de calcio
- Cloruro férrico
- Cloruro de potasio
- Etanol absoluto
- Extracto de levadura
- Fosfato disódico
- Fosfato de potasio monobásico.
- Fosfato de potasio dibásico
- Fosfato tricálcico

- Rojo congo
- Sacarosa
- Sulfato de amonio
- Sulfato de magnesio
- Sulfato de manganeso
- Sulfato de hierro

3.4 Metodología

3.4.1 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 (*Ver tabla 1*).

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

3.4.2 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, Acuacultura 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.



Gráfico 1. *Muestreo de suelos*
Fuente: David Cáceres

3.5 Características físicas y químicas del suelo

Se determinó las variables físicas y químicas desde muestras compuestas de suelo provenientes de cada área seleccionada.

3.5.1 Variables físicas

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 centrífuga”.

Las siguientes variables físicas se las determinó en el campo:

3.5.1.1 Color

El color se determinó al comparar los diferentes patrones de color establecidos por la tabla Munsell (Ibañez, Gisbert, y Moreno, 2010).

3.5.1.2 Profundidad efectiva.

Se realizó una calicata de 1 m x 1 m, hasta una profundidad de 1,25 metros de profundidad.

3.5.1.3 Infiltración básica

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).

3.5.2 Variables químicas

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”.

3.6 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).

3.6.1 Recuento de la densidad poblacional de grupos funcionales bacterianos

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 de bacterias celulolíticas, fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato de cada sitio.

3.6.1.1 Recuento en placa de grupos funcionales de bacterias celulolíticas

De acuerdo a Pilar, y Ramírez, (2009) se pesó 10 g de suelo, que se llevaron a un frasco de dilución con 90 ml de solución salina al 0,90 %; esta mezcla se homogeneizó en un agitador magnético durante 10 minutos a 180 rpm. Se realizaron diluciones seriadas en tubos con 9 ml de solución salina al 0,90% hasta la dilución de 10^{-5} . Se sembró en profundidad por triplicado, 1 ml cada una de las diluciones anteriores en medio de Agar celulosa. Después de realizadas las siembras se incubaron a 25°C por dos días y se realizó el recuento.

3.6.1.2 Recuento en placa de grupos funcionales de bacterias fijadoras de Nitrógeno

Se pesaron 10 g de suelo, que se llevaron a un frasco de dilución con 90 ml de solución salina al 0,90 %; esta mezcla se homogeneizó en un agitador magnético durante 10 minutos a 180 rpm. Se realizaron diluciones seriadas en tubos con 9 ml de solución salina al 0,90 % hasta la dilución de 10^{-5} . Se sembró en superficie por triplicado, 100 μ L cada una de las diluciones anteriores en medio de cultivo de Pochon (*N-free* que contiene manitol). Después de realizadas las siembras se incubaron a 37°C por siete días y se realizó el recuento.

3.6.1.3 Recuento en placa de grupos funcionales de bacterias solubilizadores de fosfato

Las muestras de suelo se procesaron el mismo día. Se tomó de las muestras 10 g de suelo y se suspendieron en frascos con 90 ml de solución salina al 0,90%, esta mezcla se homogeneizó en un agitador magnético durante 10 minutos a 180 rpm. Se realizó diluciones en serie en tubos con 9 ml de solución salina al 90% hasta la dilución de 10^{-5} . Estas se sembraron en superficie sobre agar de Pikovskaya (PVK) que contiene TCP como la fuente de fosfato. Las cajas Petri se incubaron a 25°C durante 7 días. Las colonias con halo claro se marcaron como positivas para la solubilización de fosfatos.

3.6.2 Obtención de la densidad poblacional de los grupos funcionales bacterianos

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).

Para el conteo se calculó el valor con la siguiente fórmula:

$$\text{UFC/g de suelo} = \frac{\text{No. de colonias por placa} \times \text{Factor de dilución}}{\text{g de la muestra sembrada}}$$

Fuente: Guzmán, 2011

3.7 Incidencia de las propiedades edáficas en las variables dasométricas de *Pinus radiata*.

3.7.1 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*. Para ello se desarrolló un inventario forestal.

3.7.1.1 Inventario

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.

3.7.1.1.1 Señalamiento

Se señaló con un spray cada árbol a medir, utilizando una numeración diferente para cada individuo dentro de la parcela.

3.7.1.1.2 Medición de diámetro del fuste

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.

3.7.1.1.3 Medición de la altura total

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.

Los resultados obtenidos fueron en grados, por lo cual se necesitó de la siguiente fórmula trigonométrica para la obtención de la altura.

$$H = \text{Tan } \alpha \times Dh$$

H= Altura.

Tan α = Tangente del ángulo.

Dh= Distancia horizontal.

3.7.2 Incidencia de las variables edáficas en las variables dasométricas

Se desarrolló un análisis de correlación entre las variables edáficas y las variables dasométricas para evidenciar la interacción existente entre ambos componentes.

3.8 Análisis estadístico

La prueba de *t* de Student permitió comparar las medias de las variables físicas, químicas y biológicas estudiadas entre las tres plantaciones forestales.

Tabla 2*Resultados de las variables agrupadas*

Variable	Características del suelo
Textura	
Densidad aparente	
Densidad real	
Porosidad	
Capacidad de Campo	Variables físicas
Punto de marchitez	
Color	
Profundidad efectiva	
Infiltración básica	
Ph	
Capacidad de Intercambio Catiónico	
Materia orgánica	Variables químicas
Macronutrientes	
Micronutrientes	
Densidad de BC (UFC/g)	
Densidad de BFN (UFC/g)	Densidad de grupos funcionales bacterianos
Densidad de BP (UFC/g)	
Plantación de pino Zuleta	
Plantación de pino Cajas	DAP y Ht de las plantaciones de <i>Pinus radiata</i>
Plantación de pino Achupallas	

BC= Baceterias celulolíticas, **BFN**= Bacterias Fijadoras de nitrógeno, **BSP**= Bacterias solubilizadoras de fosfato, **DAP**= Diámetro altura de pecho, **Ht**= Altura total.

Elaborado por: David Cáceres.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características de los rodales seleccionados

Los rodales adquiridos, presentaron las siguientes características que se detallan a continuación.

4.1.1 Zuleta

El rodal corresponde a la superficie de una hectárea, ubicada en la comunidad de Zuleta y administrada por la “Hacienda Zuleta y Anexas”.

La plantación fue 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. En la actualidad (2017) cuenta con 13 años de edad.

4.1.2 Cajas

El rodal ocupa una superficie de una hectárea, situada en la comunidad San Isidro de Cajas y administrada por la “Hacienda Catacoopamba”.

La plantación fue establecida en el año 2003 a una densidad de plantación de 4m x 4m, en el sistema tres bolillo; referente al manejo, no se ha aplicado ningún tipo de fertilizante ni herbicida, cuenta con una poda de mantenimiento y formación a los cinco años de edad. Actualmente (2017) tiene 14 años.

4.1.3 Achupallas

El rodal cuenta con una superficie de una hectárea, localizada en la comunidad de Achupallas y administrada por la “Hacienda La Toma”.

La plantación fue establecida en el año 2004 y se empleó el espaciamiento 3m x 3m, en el sistema de tres bolillo; en relación con el manejo, no han aplicado ningún tipo de herbicidas ni fertilizantes, cuenta con una poda de mantenimiento y formación a los cinco años de edad. En el presente (2017) tiene 13 años.

Los tres rodales seleccionados presentaron kikuyo (*Penisetum clandestinum*), debido a que las plantaciones de *Pinus radiata* exhibió cobertura cerrada de copa, por tanto no se observa una regeneración de especies nativas bajo dosel (Gómez, Hahn, y San Martín, 2009).

4.2 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. La respectiva interpretación se lo desarrolló con la Tabla de Interpretación de Resultados-Región Sierra de AGROCALIDAD (Anexos 2, Tabla 12 y 13).

4.2.1 Variables físicas

4.2.1.1 Textura

Como se indica en la Tabla 4, los resultados de la clase textural de suelos en sitios de Zuleta y San Isidro de Cajas fueron similares, mientras Achupallas fue diferente. 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.

Tabla 3.

Textura de suelo de las áreas investigadas

ÁREAS DE INVESTIGACIÓN	Fracciones promedio			Textura promedio
	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	
Plantación <i>Pinus radiata</i> Zuleta	42	38,67	19,33	Franco
Plantación <i>Pinus radiata</i> San Isidro de Cajas	42	36,67	21,33	Franco
Plantación <i>Pinus radiata</i> Achupallas	56	31,33	12,67	Franco Arenoso

Elaborado por: David Cáceres.

Lo cual es prácticamente 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.

4.2.1.2 Densidad real y densidad aparente

Conforme las indicaciones del Gráfico 2, 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.

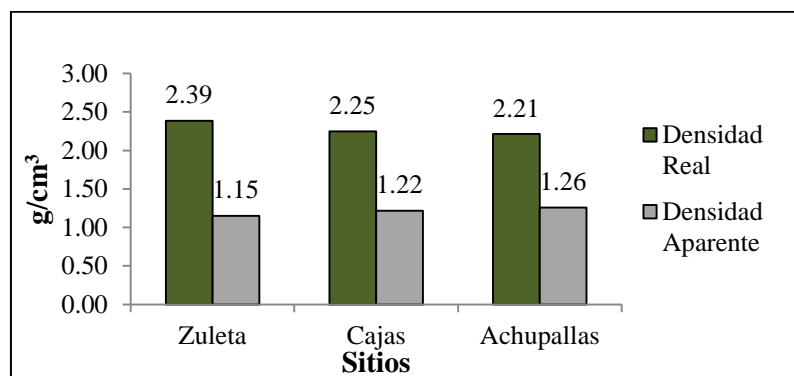


Gráfico 2. Densidad real y densidad aparente
Elaborado por: David Cáceres.

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).

4.2.1.3 Porosidad

Como se muestra en el Gráfico 3, 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.

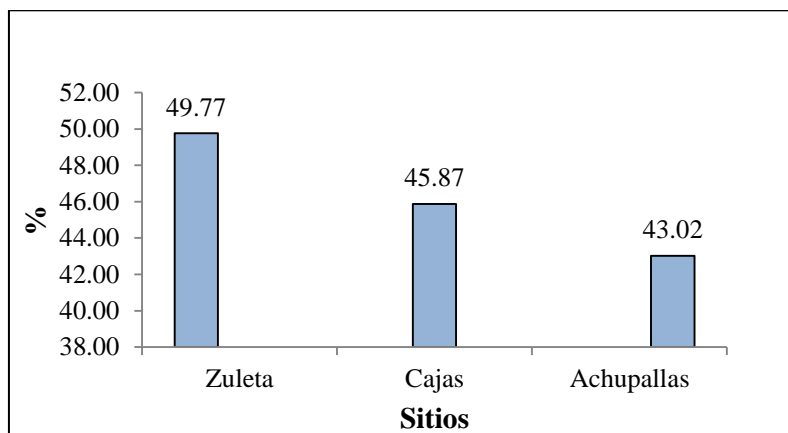


Gráfico 3. Porosidad
Elaborado por: David Cáceres.

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.

4.2.1.4 Constantes hidrofísicas

Tal como se observa en el Gráfico 4, 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.

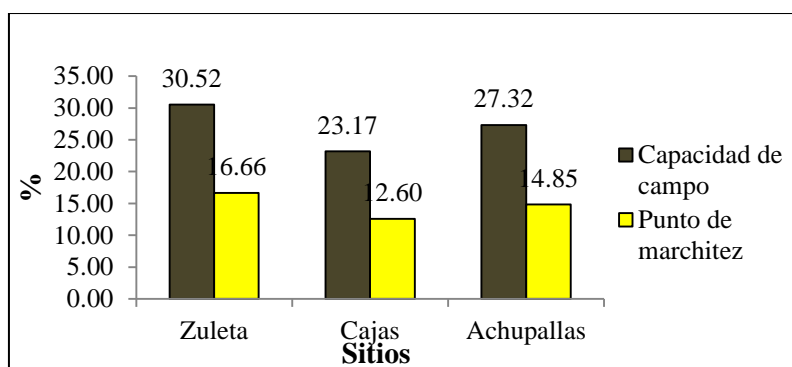


Gráfico 4. Capacidad de campo y punto de marchitez
Elaborado por: David Cáceres

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.

4.2.1.5 Color del suelo

Según se observa en la Tabla 5, el color del suelo de los tres sitios presentaron el mismo matiz, intensidad y pureza tanto en seco como en húmedo, correspondiente a suelos oscuros.

Tabla 4.

Color del suelo

No	Sitio de Investigación	Color del suelo					
		En seco			En húmedo		
		Matiz	Intensidad y pureza	Resultados	Matiz	Intensidad y pureza	Color
1	Plantación Zuleta	10 YR	3/2	Very dark brown	10YR	2/1	Black
2	Plantación San Isidro de Cajas	10 YR	3/2	Very dark brown	10YR	2/1	Black
3	Plantación Achupallas	10 YR	4/3	Brown	10YR	2/2	Very dark Brown

Elaborado por: David Cáceres.

Estos resultados son 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, debido a la ubicación de los sitios sobre estratos volcánicos; suelos negros con alto contenido de materia orgánica.

4.2.1.6 Profundidad efectiva del suelo

De acuerdo a los resultados de la Tabla 6, los suelos con plantaciones de *Pinus radiata* en Zuleta, San Isidro de Cajas y Achupallas, presentaron una profundidad efectiva mayor a 1.20 m, de manera que se consideran suelos muy profundos.

Tabla 5

Profundidad efectiva del suelo

N°	Sitios	Profundidad (m)	Descripción
1	Plantación Zuleta	> 1,20 m	Muy Profundo
2	Plantación San Isidro de Cajas	> 1,20 m	Muy profundo
3	Plantación Achupallas	> 1,20 m	Muy Profundo

Elaborado por: David Cáceres.

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, y Schlatter, Gerding y Oñate (1998) donde los sitios de Concepción, Santa Juana, Los Sauces y Nacimiento presentaron suelos profundos, con mejores condiciones de arraigamiento de raíces para este último, debido a que superó los 1,20 m. La calidad del suelo muy profundo, determinado en el presente estudio, corresponde a suelos de cenizas volcánicas, ricos en materia orgánica, nitrógeno y con tendencia a pH ácida.

4.2.1.7 Infiltración del suelo

En correspondencia a la Tabla 7, los valores de infiltración determinados en el tiempo de 1 hora con 60 minutos, dan a conocer que existe una variación en los resultados encontrados.

Tabla 6*Infiltración del suelo*

Sitios evaluados	Velocidad de Infiltración (mm/h)
Plantación <i>Pinus radiata</i> Zuleta	3,38
Plantación <i>Pinus radiata</i> San Isidro de Cajas	3,56
Plantación <i>Pinus radiata</i> Achupallas	3,86

Elaborado por: David Cáceres.

Las plantación de Zuleta presentó una infiltración menor seguida por Cajas, debido a la fracción arcilla presente en el suelo, mientras Achupallas presentó una infiltración mayor por la fracción arena. En la investigación desarrollada en Colombia por Gómez, (2011) menciona que un suelo de piedrecillas o arena gruesa, puede tener 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.

4.2.2 Variables Químicas

4.2.2.1 pH

Conforme se contempla la Tabla 8, el suelo de Zuleta obtuvo pH ácido, mientras Cajas y Achupallas presentaron un pH ligeramente ácido.

Tabla 7*pH de las áreas investigadas*

Áreas De Investigación	pH Promedio	Interpretación
Plantación <i>Pinus radiata</i> Zuleta	5,41	Ácido
Plantación <i>Pinus radiata</i> San Isidro de Cajas	5,70	Ligeramente ácido
Plantación <i>Pinus radiata</i> Achupallas	5,86	Ligeramente ácido

Elaborado por: David Cáceres.

Los resultados coinciden con lo reportado por Mahecha, (2011) donde el bosque junto a plantación forestal mostraron pH ácido, y suelos con cultivo de cebollas ligeramente ácido; igualmente las haciendas de San Joaquín, Santa Ana y Colcas presentaron un pH que varió de 5,50 a 6,80 que va de ácido, ligeramente ácido a neutro (Vargas, 2012). La similitud de los

resultados con los estudios reportados, es debido a la ubicación de los sitios en la región andina de Ecuador y Colombia. Se logró evidenciar que la materia orgánica y la clase textural mantuvieron una fuerte participación en la variación de la acidez del suelo.

4.2.2.2 Capacidad de intercambio catiónico

Como se observa en el Gráfico 5, la capacidad de intercambio catiónico fue alta en la plantación de Zuleta, en comparación a Cajas y Achupallas.

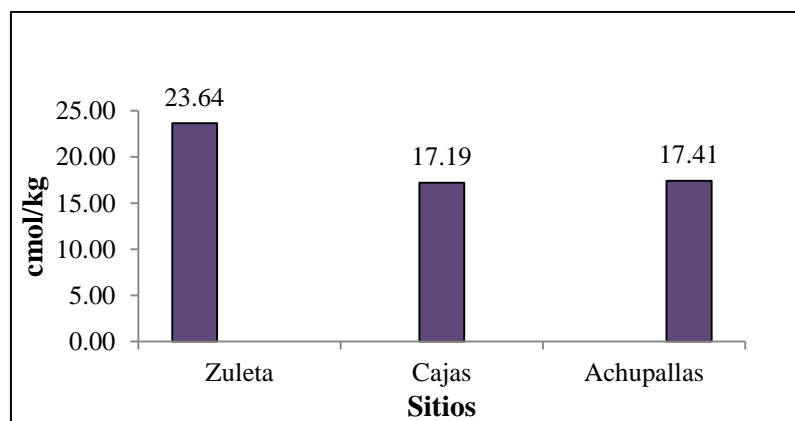


Gráfico 5. Capacidad de intercambio catiónico
Elaborado por: David Cáceres.

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), también se logró evidenciar una disminución de esta variable, con la pérdida de suministro de materia orgánica ocasionados por actividades de deforestación (Buschbacher, 1986; mencionado por García, Ríos, y Molina, 2010). El tercero se debe al contenido de la fracción arena, que se ajusta a lo expresado por Torres, *et al.*, (2006) quienes al comparar los tipos de usos de tierra evidenciaron que los valores bajos de la capacidad de intercambio catiónico se dieron por naturaleza de suelos franco arenoso.

4.2.2.3 Materia orgánica

Como se muestra en el Gráfico 6, los contenidos de materia orgánica fueron altos, presentando variabilidad entre sitios. Zuleta y Achupallas evidenció una tendencia mayor, mientras para San Isidro de Cajas fue menor.

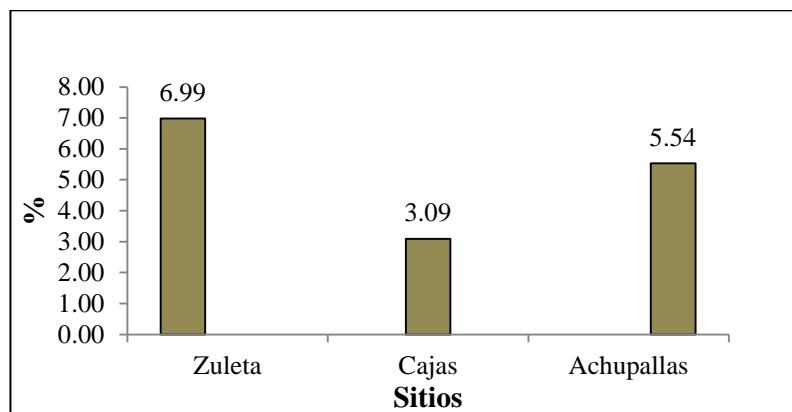


Gráfico 6. *Materia orgánica*
Elaborado por: David Cáceres

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, en cambio el último corresponde al grado de pendiente y ausencia de restos de poda, razón se halla susceptible a la lixiviación, que las otras áreas de estudio en mención.

4.2.2.4 Macronutrientes

- **Nitrógeno**

Como se da a conocer en el Gráfico 7, 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.

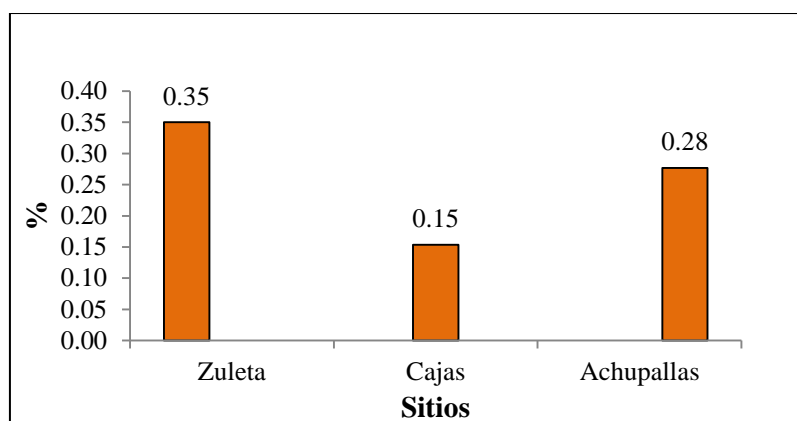


Gráfico 7. *Nitrógeno*
Elaborado por: David Cáceres.

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 de nitrógeno y están razonablemente bien amortiguados (Dyck, y Skinner, 1990 mencionado por Turner, & Lambert, 2013).

- ***Fósforo***

Tal como se evidencia en el Gráfico 8, 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). Achupallas presentó un porcentaje medio, debido a su textura franco arenoso. Según Fe-Pérez, Díaz, Vera, y Hernández, (2015) este elemento depende de factores clima, vegetación, textura, prácticas de fertilización, riego y drenaje, y uso de suelo.

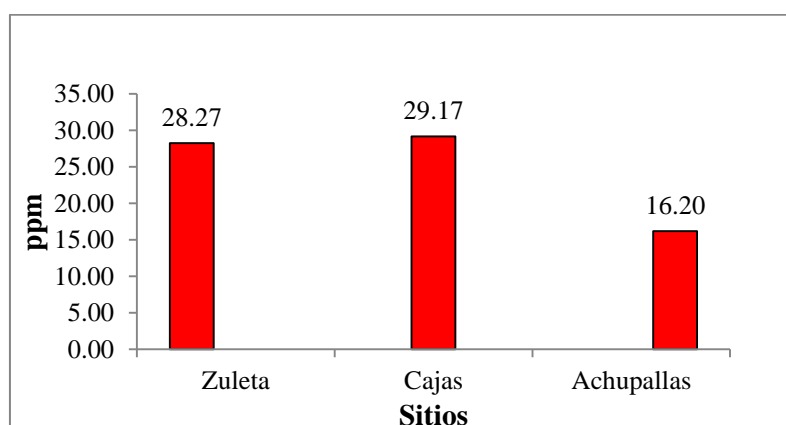


Gráfico 8. *Fósforo*
Elaborado por: David Cáceres

Estos resultados concuerdan con la investigación desarrollada en Argentina por Boschetti, Quintero, Benavidez, y Giuffrè, (2003) quienes para un análisis de resultados agruparon los suelos en tres grupos, tomando en cuenta el material parental, fertilidad, poder de adsorción de fósforo y estado de evolución, demostrando que los suelos que contenían la fracción arena presentaron valores inferiores de este elemento. La arena presente en el suelo de Achupallas hace que la adsorción de fósforo sea menor en relación con Zuleta y San Isidro de Cajas, donde este elemento se encuentra en concentraciones más altas.

- **Potasio**

Según se observa en el Gráfico 9, Zuleta y San Isidro de Cajas presentaron valores medios de potasio mientras Achupallas demostró un nivel bajo.

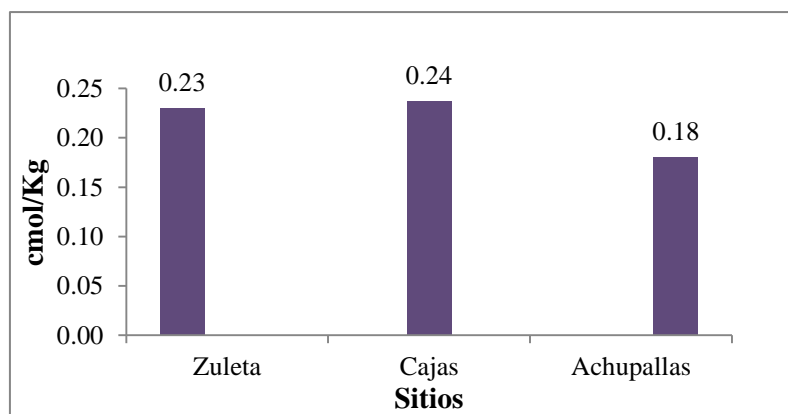


Gráfico 9. Potasio
Elaborado por: David Cáceres.

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, por lo cual se dedujo que esta fracción limita los elementos mencionados. Turner y Lambert, (1986) afirman que la deficiencia de potasio es relativamente rara en las plantaciones de *Pinus radiata*, pero donde ocurre se corrige fácilmente.

- **Calcio y magnesio**

En el Gráfico 10 se observa que 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.

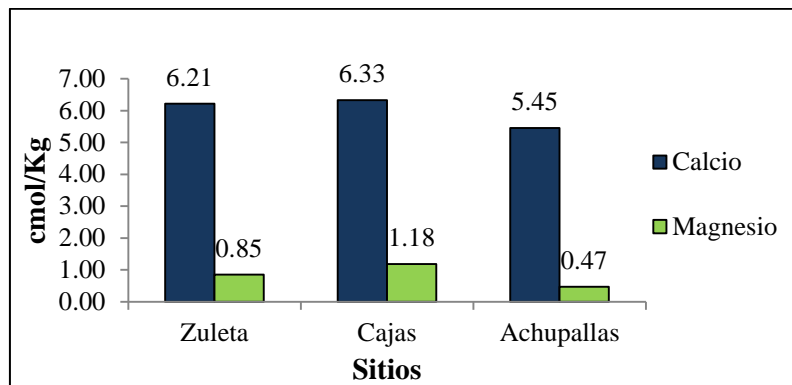


Gráfico 10. *Calcio y magnesio*
Elaborado por: David Cáceres

En el estudio desarrollado en España por Merino, Rey, Brañas, y Rodríguez, (2003) el calcio presentó una situación variable entre las diferentes parcela a edades comprendidas entre 16 y 29 años, encontrándose en buenas cantidades en los suelos de algunas parcelas y siendo bajas en otras. La razón que los resultados de la investigación son casi similares al estudio reportado, es debido que coinciden en las texturas de suelo franco, franco arenoso.

La variación del magnesio se debe a la fracción arena, debido a que Anderson, (1989) mencionado por Zérega, Hernández, y Valladares, (1997) evidenció que la deficiencia de este elemento es común en suelos arenosos y puede ocasionar problemas nutricionales en la planta.

- **Azufre**

Como se exhiben en el Gráfico 11, 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.

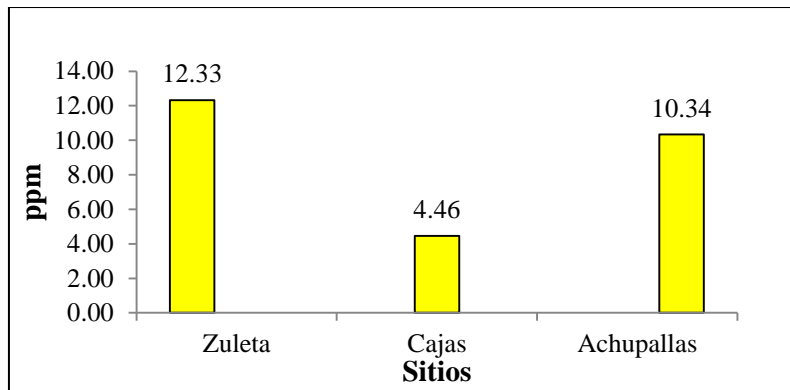


Gráfico 11. Azufre
Elaborado por: David Cáceres

En la investigación de Combatt, Martínez, y Polo, (2005) el azufre promedio se encontró en contenidos medios a deficientes para suelos forestales, motivo vio la necesidad de realizar abonamientos químicos con este elemento.

4.2.2.5 Micronutrientes

- **Cobre**

En el Gráfico 12, se observa que el cobre presentó concentraciones altas en Zuleta, Cajas y Achupallas.

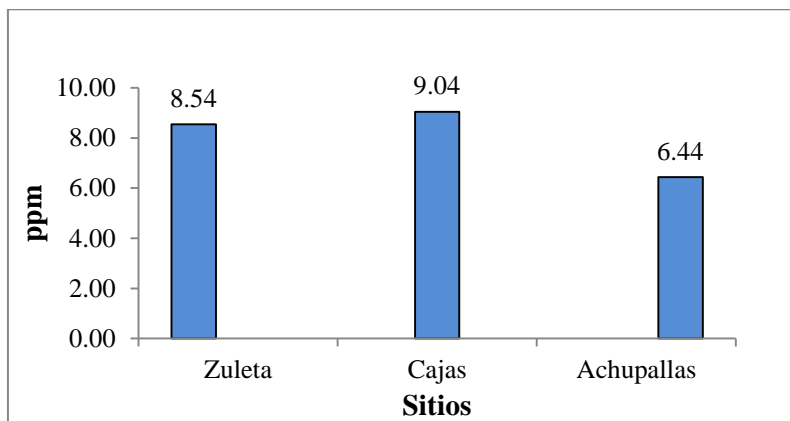


Gráfico 12. Cobre
Elaborado por: David Cáceres.

Los valores de éste elemento encontrados en las tres plantaciones, dan a conocer que puede ser uno de los factores afectan al desarrollo del pino, debido que todas las plantas requieren dosis muy pequeñas.

- **Zinc y boro**

En la Gráfica 13, estos elementos se evidencian en forma deficiente para las tres áreas investigadas.

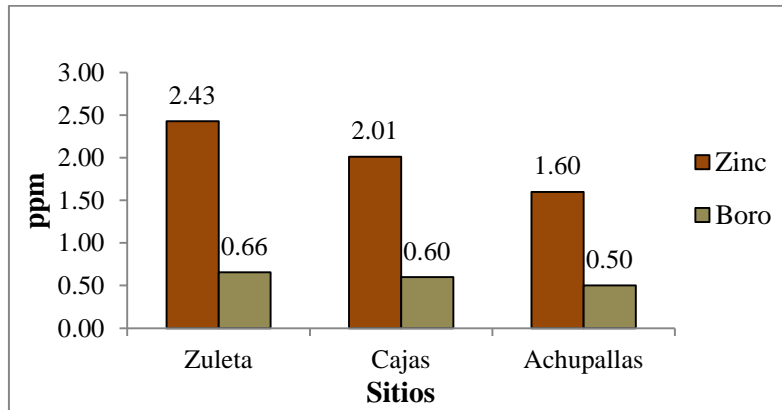


Gráfico 13. Zinc y boro
Elaborado por: David Cáceres.

De acuerdo con Lozano, *et al.*, (2012) los bajos contenidos de nutrientes en el suelo, pueden deberse a las características del material parental y a la textura. Estos resultados son prácticamente similares al estudio de Combatt, Martínez, y Polo, (2005) donde las zonas investigadas presentaron deficiencia para los elementos menores cobre con 75 % y zinc 50%. Esto se debe a que las áreas de estudio y los reportados comparten la misma clase textural de franco y franco arenoso, a pesar de encontrarse en rangos altitudinales diferentes.

Los bajos contenidos del elemento boro ocasionan problemas nutricionales muy graves en el desarrollo de *Pinus radiata* y para combatir este problema es necesario la aplicación de fertilizantes de nitrógeno y fósforo que logran acentuar la deficiencia del boro junto al zinc, debido a los efectos de dilución causados por tasas de crecimiento más rápidas, que son corregidas fácilmente por los fertilizantes (Combatt, Martínez y Polo, 2005; Schlatter, Gerding y Oñate, 1998; Donald, 2013).

- **Manganeso y hierro**

Los resultados de metales pesados del suelo se mencionan en la Gráfica 14, donde el manganeso presentó un valor medio para Zuleta, San Isidro de Cajas y Achupallas, mientras el hierro evidenció valores altos para los tres sitios.

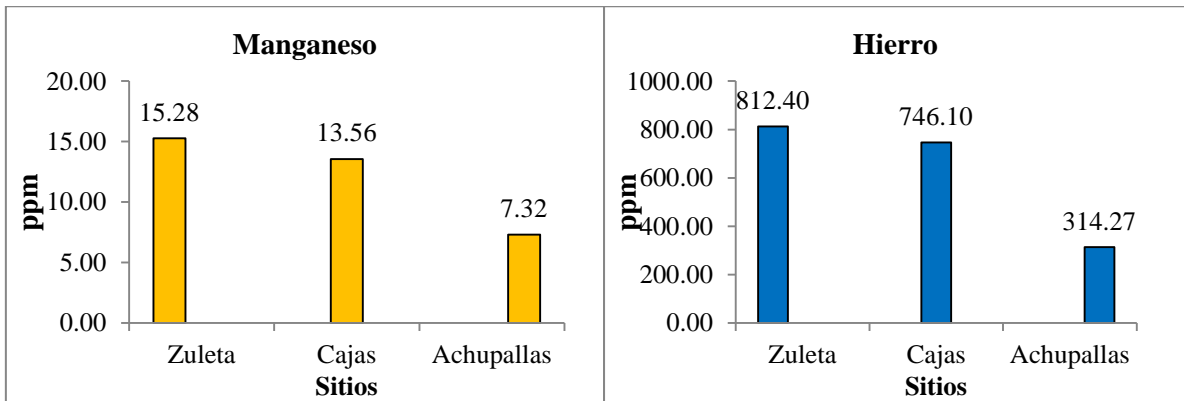


Gráfico 14. *Manganeseo y hierro*
Elaborado por: David Cáceres

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).

4.3 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. Los datos se reportan en UFC/g de suelo en la Tabla 8.

Tabla 8

Densidad de grupos funcionales bacterianos

Grupo Funcional	Área de Investigación	Resultado final UFC/g	Rangos
Bacterias celulolíticas	Zuleta	$1,89 \times 10^5$	a
	Cajas	$7,7 \times 10^4$	c
	Achupallas	$1,69 \times 10^5$	b
Bacterias Fijadoras de Nitrógeno	Zuleta	$2,85 \times 10^4$	a
	Cajas	$2,34 \times 10^4$	c
	Achupallas	$2,71 \times 10^4$	b
Bacterias Solubilizadoras de Fosfato	Zuleta	$6,3 \times 10^4$	b
	Cajas	$7,5 \times 10^4$	a
	Achupallas	$4,9 \times 10^4$	c

Elaborado por: David Cáceres

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 diferencia 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. Esto denota que los sitios en estudio el proceso de descomposición de hojarasca de *Pinus radiata* es lento, lo cual según Lusk, *et al*, (2001), estaría implicando una reducción en la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las especies forestales plantadas debido al lento ciclo de nutrientes.

En este estudio se observó que la densidad poblacional de bacterias celulolíticas se incrementó con el porcentaje de materia orgánica presente en cada sitio, lo cual es sustentado por Guzmán, Zambrano, Rivera, Rondón, y Pérez, (2015) donde el área cañera resultó ser un buen hábitat para estas bacterias, probablemente porque el depósito de residuos fibrosos que favoreció la presencia de microorganismos con capacidad celulolítica.

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.

Las bacterias fijadoras de nitrógeno están relacionadas con el contenido de materia orgánica; en este sentido, Mantilla *et al.*, (2009), mencionan que la principal fuente de nitrógeno para las plantas es la materia orgánica del suelo, que es oxidada por los microorganismos para liberar dicho elemento. De acuerdo con la investigación de los autores antes mencionados, para bacterias aerobias con potencial para fijar nitrógeno, los suelos bajo pastizal reportaron los recuentos más altos de 1.1×10^7 UFC/g de suelo, seguido por suelos cubierto por bosque de 9.7×10^5 UFC/g de suelo, y finalmente los suelos bajo chagra 3.1×10^5 UFC/g de suelo. En comparación al estudio reportado, tanto Zuleta, Cajas y Achupallas mantuvieron recuentos de 2.34 a 2.82×10^4 UFC/g de suelo, valores más bajos probablemente relacionados con el contenido de materia orgánica menor.

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; mientras los suelos de este estudio correspondieron a franco arenoso. Otro estudio que ratifica la validez de resultados de esta investigación es el desarrollado en Canadá por Chabot y col. (1993) mencionado por Fernández, *et al.*, (2005), en el que se observó que en suelos franco arcillosos la microflora solubilizadora abarca un 26% del total de los microorganismos presentes en el suelo. Según Restrepo, Marulanda, Fe-Pérez, Díaz, Vera, y Hernández, (2015) el clima, el tipo de suelo y el manejo de cultivo tiene gran influencia en la cantidad de bacterias con capacidad solubilizadora de fosfato y en sus potencialidades de uso.

Este estudio presentó densidades de grupos funcionales de N y P en el mismo orden de magnitud para Zuleta, Cajas y Achupallas; por lo que se afirma que los sitios ubicados en diferentes localidades, con altitud y vegetación de edades iguales, mantienen la exponencial al representar valores en UFC/g.

4.3 Incidencia de las propiedades del suelo en las variables dasométricas

4.3.1 Resultados de DAP y Ht promedio

En la Tabla 10 se presenta información de DAP y Ht de cada plantación, más la edad, densidad de plantación, manejo, clima y el IMA.

Tabla 9

Resultados de Zuleta, Cajas y Achupallas

Sitios	Edad	Dp	Manejo		Clima		DAP		Altura Total	
			Poda	Raleo	T. (°C)	Pma (mm)	Prom. (m)	IMA (m/año)	Prom. (m)	IMA (m/año)
Zuleta	13	3x3	1	1	13	1200	0,19	0,014	11,21	0,86
San Isidro de Cajas	14	4x4	1		11,23	873,23	0,20	0,014	11,25	0,80
Achupallas	13	3x3	1		12,5	1300	0,18	0,013	11,14	0,79

Dp= Densidad de la plantación, T= Temperatura, Pma= Precipitación media anual, DAP=Diámetro a la altura del pecho, Ht= Altura total, Prom= Promedio, IMA= Incremento Medio Anual

Elaborado por: David Cáceres

El DAP y Ht en plantaciones de *Pinus radiata* fue ligeramente mayor para San Isidro de Cajas, seguida por Zuleta y Achupallas (*Ver tabla 10*). 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.

En la Tabla 10, se observa que tanto 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.

Como se observa en la Tabla 10; 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 presencié similitud con la densidad de San Isidro de Cajas. Se determinó incidencia de la densidad de plantación debido que Achupallas presencié un menor IMA para el DAP.

Los valores de IMA promedio para Ht fueron mayores para Zuleta con 0.86 m, 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.

4.3.2 Incidencia 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.

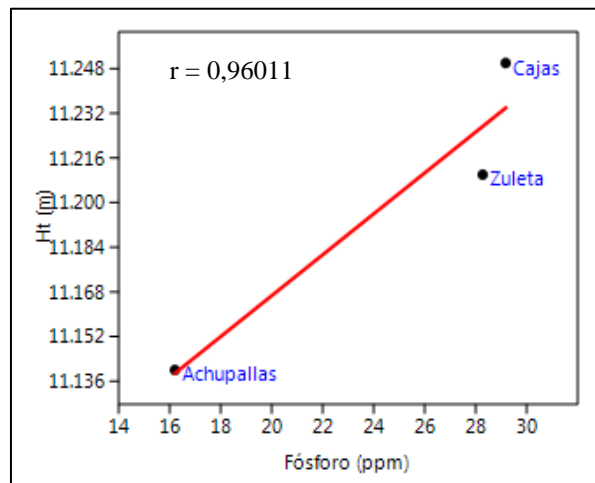


Gráfico 15. Correlación Ht y fósforo
Ht= Altura total
Elaborado por: David Cáceres

La Ht presentó una correlación positiva con el elemento fósforo (*Ver gráfico 15*), 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.

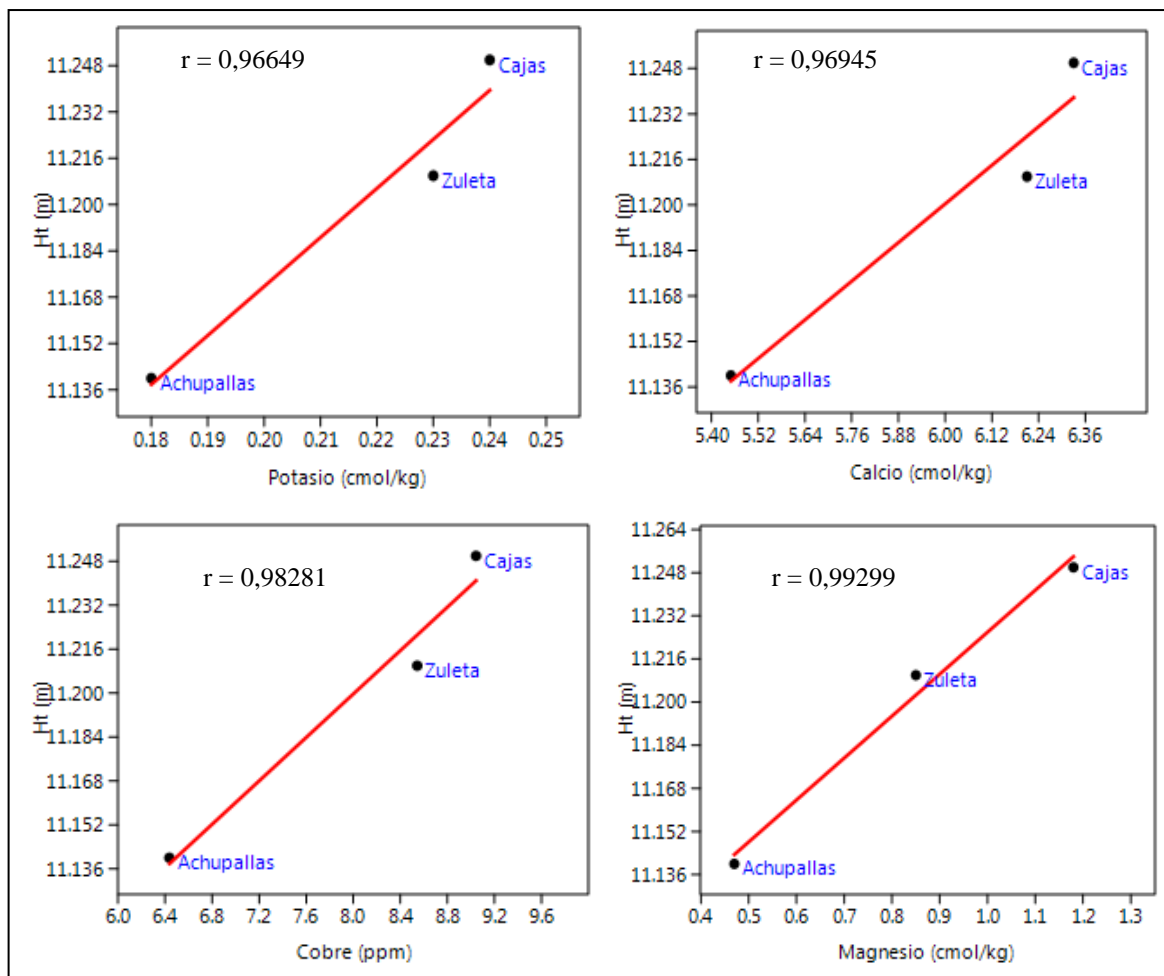


Gráfico 16. Correlación entre altura total (Ht) y potasio junto a calcio, cobre, y magnesio.

Ht= Altura total

Elaborado por: David Cáceres

La Ht se correlacionó positivamente con el magnesio, potasio, calcio, y cobre (Ver *Gráfico 16*), 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.

4.5 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.

Tabla 10

Prueba t de Student

VARIABLES	DIFERENCIAS ENTRE SITIOS		
	Zuleta-Cajas	Cajas-Achupallas	Achupallas-Zuleta
Arena	X	-14,40**	15,63**
Limo	X	3,18**	-4,76**
Arcilla	X	9,16**	-10,39**
Porosidad	X	X	-11,26**
Densidad aparente	X	X	8,82**
Densidad real	X	X	-3.229**
CIC	4,50**	X	-5,12**
Azufre	6,59**	X	-3,61**
Fósforo	X	6.55**	-11,21**
Magnesio	X	8,75**	-3,99**
Cobre	X	5,38**	-4,21**
Manganeso	X	12,35**	-5,63**
Materia orgánica	12,70**	-4,80**	-5,90**
Nitrógeno	10,72**	-4,15**	-5,16**
Zinc	3,95**	3,93**	-11,64**
BC	14,10**	-15,72**	-4,64**
BFN	10,55**	-8,03**	-5.60**
BSP	3,667**	9,38**	-7,71**

*BC= Bacterias celulolíticas, BFN= Bacteris Fijadoras de Nitrógeno, BSP=Bacterias Solubilizadoras de Fosfato; CIC= capacidad de intercambio catiónico. *= Significativo, **=Altamente significativo.*

Elaborado por: David Cáceres

En la presente investigación las fracciones arena, limo y arcilla presentó diferencias altamente significativas entre Achupallas y Zuleta junto a Cajas (*Ver tabla 11*), 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 (*Ver tabla 11*). 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 (*Ver tabla 11*), con porcentajes diferentes en cada área. Esto es 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. Esto posiblemente se deba al diferente grado de pendiente de cada sitio, lo cual origina erosión por consiguiente disminución de materia orgánica. 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. Park *et al.*, (2009) mencionado por González, *et al.* (2013) afirmaron que la presencia de bacterias solubilizadoras de fosfato puede ser afectada por el estrés de las plantas, que puede ser la causa de diferencia para cada sitio.

Mediante un análisis de correlación se determinó la relación de las variables edáficas entre sitios investigados.

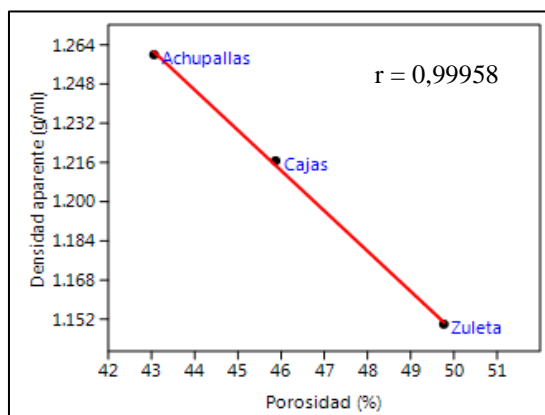


Gráfico 17. Correlación entre densidad aparente y porosidad
Elaborado por: David Cáceres

La porosidad del suelo presentó una correlación altamente negativa con la densidad aparente (Ver gráfico 17), debido a que las dos variables presentaron una relación inversa en el suelo, que se puede evidenciar en el estudio de López, Almonte, Pérez, Sotomayor, y Nuñez, (2014) donde los suelos estudiados mostraron una densidad aparente en un rango de 1.0 a 1.6 g/cm³ y una porosidad desde 31% hasta 76%.

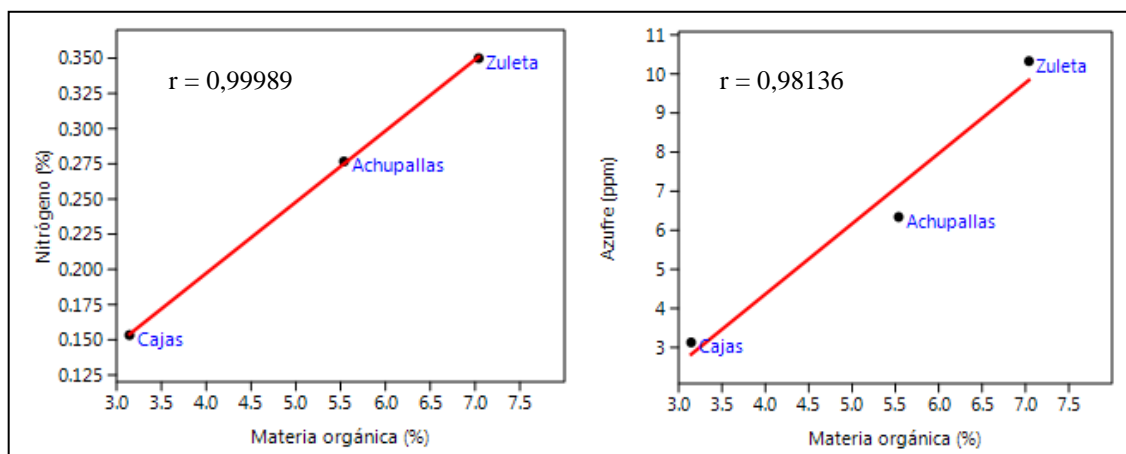


Gráfico 18. Correlación entre materia orgánica y nitrógeno junto azufre
Elaborado por: David Cáceres

La materia orgánica presentó una correlación positiva con el nitrógeno y el azufre (Ver gráfico 18). 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).

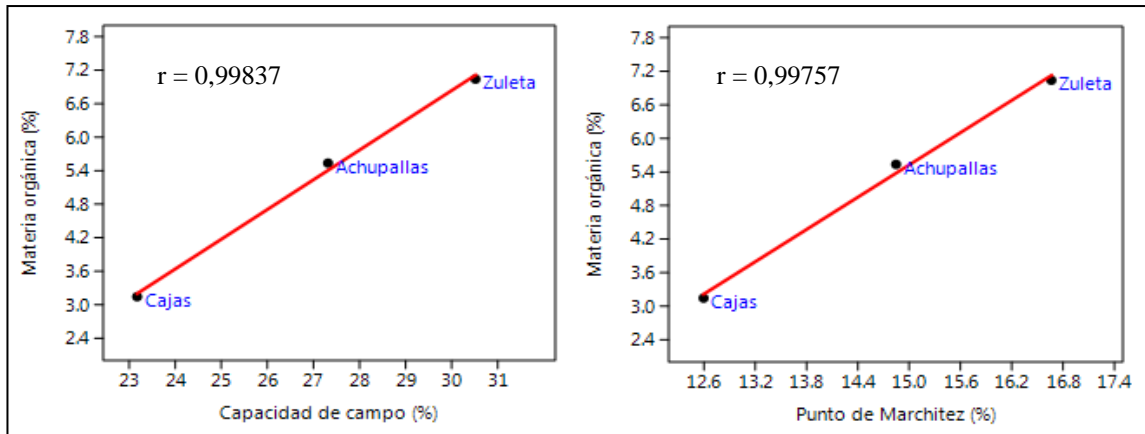


Gráfico 19. Correlación entre materia orgánica y capacidad de campo junto a punto de marchitez
Elaborado por: David Cáceres

La materia orgánica presentó una correlación altamente positiva con la capacidad de campo y el punto de marchitez (*Ver gráfico 19*). Esto 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).

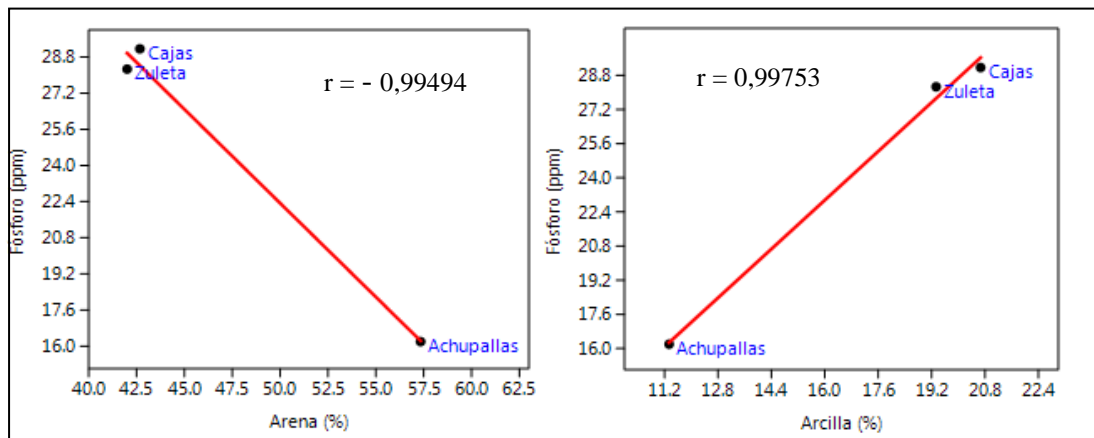


Gráfico 20. Correlación entre fósforo junto arcilla
Elaborado por: David Cáceres

El fósforo presentó una correlación positiva con la arcilla y negativa para la arena (*Ver gráfico 20*), 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). Esto concuerda con el estudio desarrollado por Arzuaga, Fernández, Dalurzo, y Vásquez, (2005) donde los mayores valores de fósforo total y orgánico y actividad fosfatasa ácida,

fueron encontrados en suelos Alfisoles y Vertisoles respecto a los Entisoles; debido a que esta última posee una textura moderadamente gruesa a fina, mientras los alfisoles muestran una evidente película de arcilla en sus horizontes superficiales y los vertisoles se encuentran compuesto por arcillas expansibles.

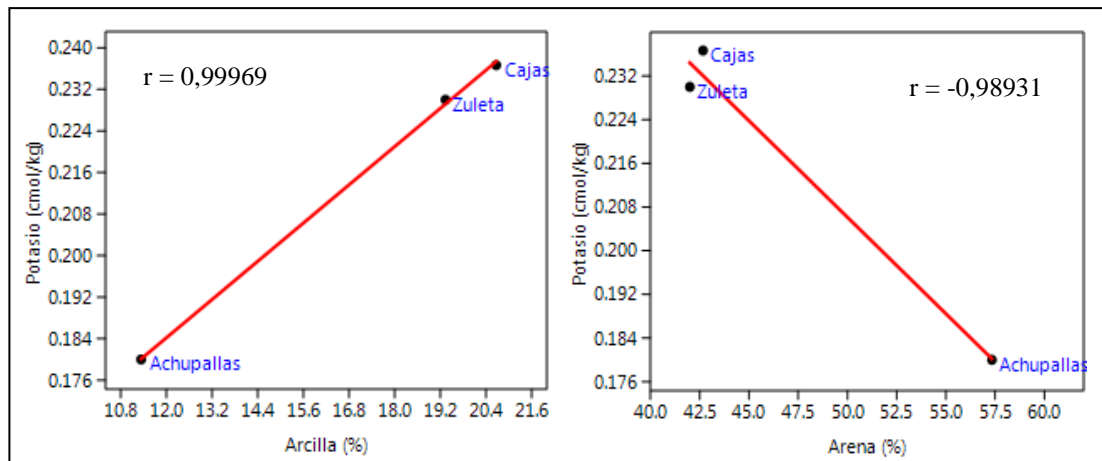
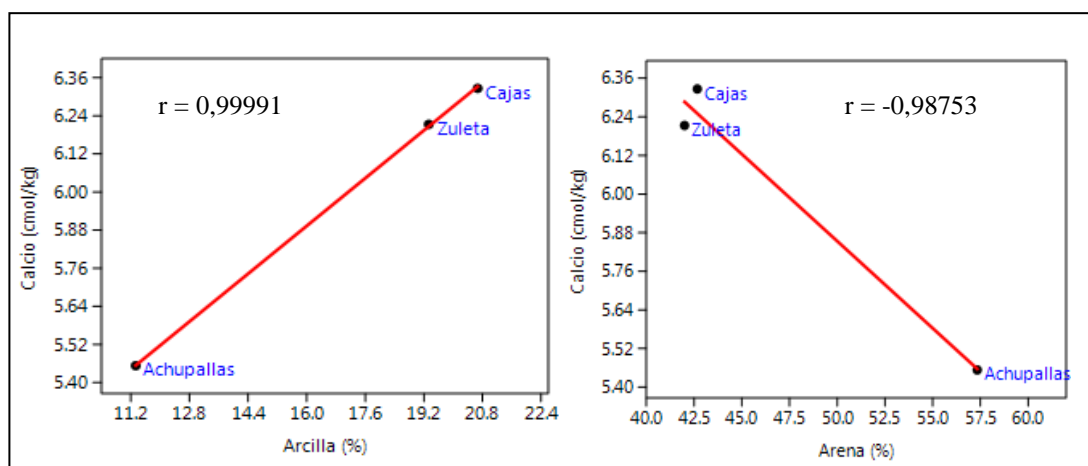
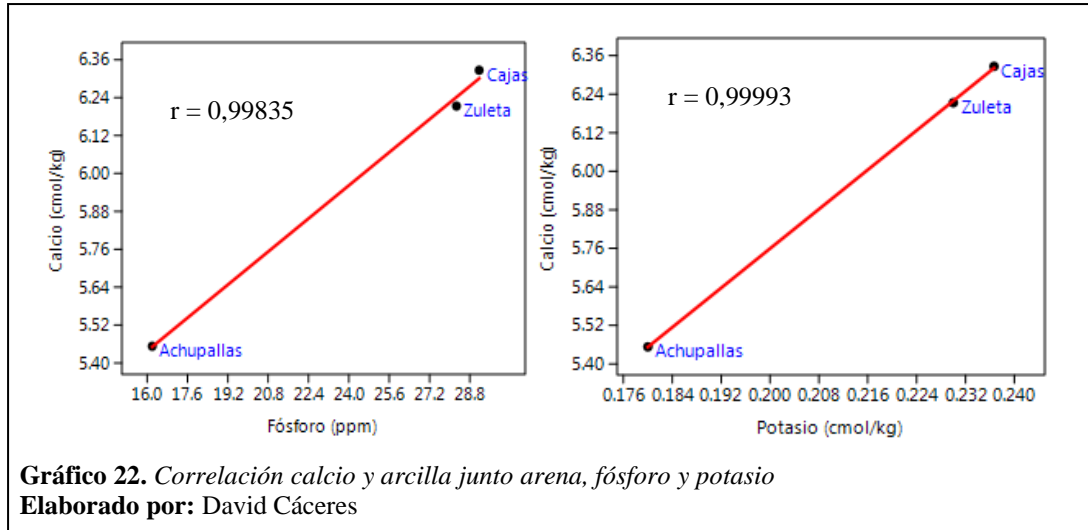


Gráfico 21. Correlación entre potasio y arcilla junto a arena
Elaborado por: David Cáceres

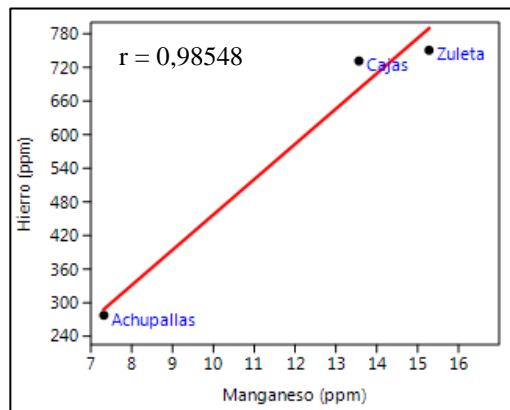
El potasio presentó una correlación altamente positiva con la arcilla mientras una correlación negativa con la arena (Ver gráfico 21). En el estudio de Guevara, Dorkas, y Molina, (2003) los resultados estuvieron de acuerdo a las diferencias texturales encontradas en las muestras de ambas regiones, debido a que las partículas más finas del suelo fueron los que contenían este reservorio de potasio. La razón de una correlación negativa con la arena se debe a que este fragmento posee partículas gruesas en comparación a la arcilla que posee partículas muy finas.



Continúa...



El calcio presentó una correlación altamente positiva con la arcilla, positiva con el fósforo y el potasio, mientras negativa con la arena (*Ver gráfico 22*). 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. Esto similar al estudio desarrollado debido a que los elementos mencionados tienden a bajar en suelos arenosos.



Hubo una correlación positiva entre el hierro y el manganeso (*Ver gráfico 23*), esto se debe a que estos elementos son metales pesados en estas plantaciones. 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.

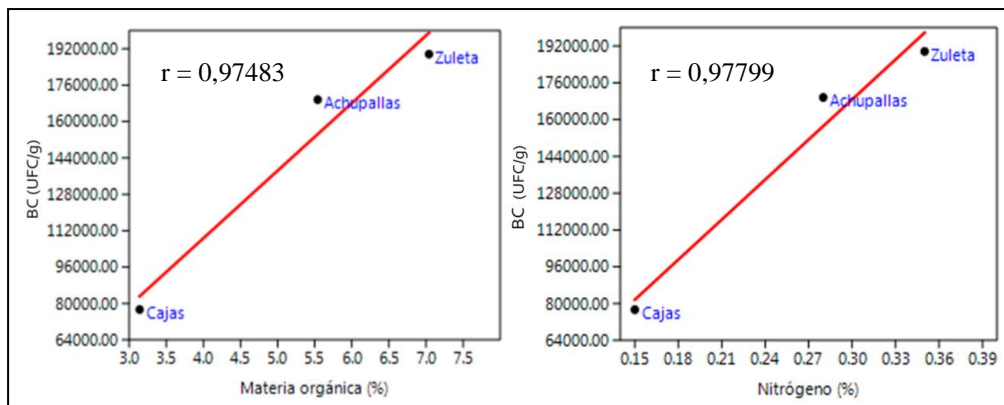


Gráfico 24. Correlación entre bacterias celulolíticas y materia orgánica junto a nitrógeno

BC= Bacterias celulolíticas

Elaborado por: David Cáceres

Se obtuvo una correlación alta entre la bacterias celulolíticas con la materia orgánica y nitrógeno (Ver gráfico 24), esto se relaciona al material orgánico presente sobre el mantillo de la plantación, pues en la investigación de Molina, Giraldo, Polanco, y Gutiérrez, (2015) se observó que al suplementar pasto kikuyo con harina de yuca y biomasa residual de la producción de etanol, la densidad poblacional de las bacterias celulolíticas incrementó significativamente en la fermentación ruminal del ganado. En el estudio de Lovera, y Ramírez, (2009) también se evidenció una correlación positiva entre las bacterias celulolíticas y la materia orgánica.

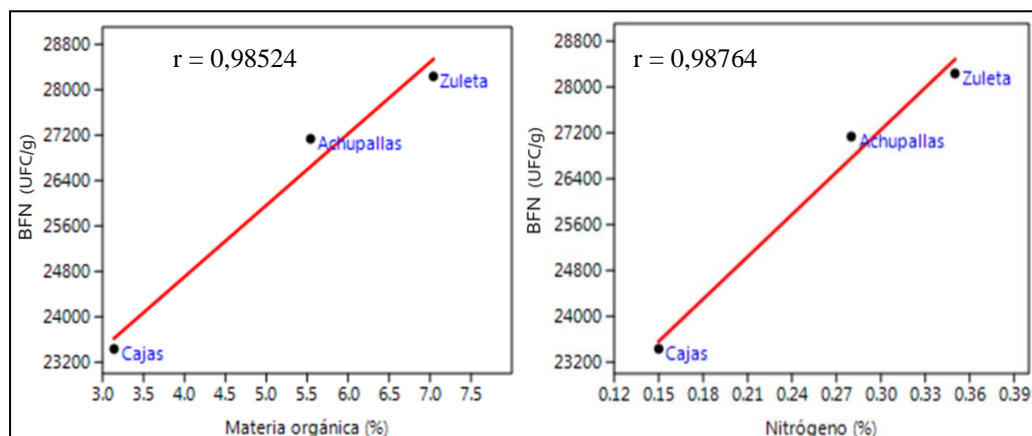


Gráfico 25. Correlación entre bacterias fijadoras de nitrógeno y materia orgánica junto nitrógeno

BFN= Bacterias fijadoras de nitrógeno

Elaborado por: David Cáceres

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, debido que esta última es fundamental para muchas propiedades bioquímicas, biológicas y físicas, las cuales controlan la actividad de microorganismos y fauna del suelo (Flaig, 1971; mencionado por Rodríguez, España, y Cabrera, 2004).

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Los tres sitios presentan suelos con una clase textural franco a franco arenoso, tipos de textura donde el *Pinus radiata* se encuentra establecidas en la región sierra ecuatoriana.

Se evidenció que el nitrógeno es sumamente sensible a la pendiente y a la fracción arena, debido a que la plantación forestal con mayor pendiente y fracción arena presentó un porcentaje menor en comparación a las otras dos masas forestales donde la pendiente fue moderado y prevalecía la arcilla.

La materia orgánica presentó un papel muy importante en las variables del suelo. En las físicas, para la densidad aparente y porosidad; en las químicas para el pH, nitrógeno, azufre; y biológicas para las bacterias celulolíticas y fijadoras de nitrógeno.

La densidad poblacional de bacterias celulolíticas, fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fosfato presentaron diferencias estadísticamente significativas, por lo que los cambios de sitio al mismo rango altitudinal, diferentes grados de pendiente y clase textural afectan en la densidad de estos grupos funcionales bacterianos.

El fósforo, potasio, calcio, cobre y magnesio presentaron correlación con la variable dasométrica altura total (Ht) del árbol, en tanto el DAP no presentó correlación con ninguna variable edáfica, debido a que este último puede estar sujeto a la densidad de plantación y manejo de masas forestales.

5.2 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.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Bacterias Fijadoras de Nitrógeno (BFN).

Bacterias Solubilizadoras de Fosfato (BSP).

Bacterias Celulolíticas (BC).

Bacterias Proteolíticas (BP).

Unidades Formadora de Colonia (UFC).

Diámetro a la Altura del Pecho (DAP).

Altura total (Ht).

Hectáreas (ha).

Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD).

Carbono (C).

Nitrógeno (N).

Fósforo (P).

Partes por millón (ppm).

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.D. Miller (1974) *Pinus radiata en el Ecuador, su ecología y crecimiento. Depósitos de documentos de la FAO*. FAO.
- Afif, E., Canga, E., Gorgoso, J., & Cámara, M.,. (2008). *Relación entre las propiedades del suelo, incremento en volumen anual y estado nutricional del Eucalyptus globulus y Pinus radiata D. Don en Asturias (Noroeste de España)*. España
- Alvarado, A., (2005) *Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica*. Costa Rica. Universidad de Costa Rica.
- Arana, T., Perales, C., Pérez, I., Ibáñez, B., Domínguez, M., García, L., y Gómez, L., (2012) *Interacciones árbol-suelo y funcionamiento del bosque mediterráneo: síntesis del proyecto INTERBOS*. España. Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, IRNAS.
- Arzuaga, S., Fernández, L., Dalurzo, H., y Vasquez, S., (2005) *Fósforo total, fósforo orgánico y fosfatasa ácida, en Entisoles, Alfisoles y Vertisoles de Corrientes con diferentes usos agrícolas*. Universidad Nacional del Nordeste.
- Beltrán, M., & Lizarazo, L.,. (2013). *Grupos funcionales de microorganismos en suelos de páramo perturbados por incendios forestales*. Universidad del Valle.
- Bobadilla, C., & Rincón, S. (2008). *Aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenidos de residuos de Plaza*. Colombia. Pontificia Universidad Javeriana.
- 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.
- Boschetti, N., Quintero, C., Benavidez, R., y Giuffre, L., (2003) *Cuantificación de las fracciones orgánicas e inorgánicas de fósforo en suelos de la Mesopotamia Argentina. Ciencia del Suelo 21*. Buenos Aires-Argentina.
- Calvache, M., (2011) *Aplicaciones de las sondas electromagnéticas y de neutrones en la ingeniería agrícola*. Quito-Ecuador. Universidad Central del Ecuador.

- Combatt, E., Martínez, G., y Polo, J., (2005) *Caracterización química y física de los suelos agroforestales de la zona lata de Córdoba*. Universidad de Córdoba
- 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*.
- Eimil, C., Sánchez, F., & Rodríguez, R., (2012). *Macro y micronutrientes en acículas de Pinus pinaster de diferentes clases de edad y relación con el índice de sitio de las plantaciones*. España. Universidad de Santiago.
- FAO. (2009). *Guía para descripción*. Italia, Roma: Cuarta edición.
- Fernandez, L., Zalba, P., Gómez, M., & Sagardoy, M. (2005). *Bacterias Solubilizadoras de Fosfato Inorgánico aisladas de suelos de la región Sojera*. Universidad nacional del Sur.
- Flórez, N. (2010). *Determinación de parámetros biológicos y fisicoquímicos asociados al metabolismo edáfico del Nitrógeno en cultivos de Solanum phureja en el departamento de Cundimarca*. Colombia.
- Gaitán, D., y Pérez, L., (2007). *Aislamiento y evaluación de microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y en compost generados en un cultivo de crisantemo (Dendranthema grandiflora)*. Colombia- Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana.
- García, L., Ríos, A., y Molina, L., (2010) *Estructura, composición vegetal y descomposición de hojarasca en el suelo, en dos sitios de un bosque nublado andino (Reforestado y en sucesión espontánea), en Peñas Blancas, Calarcá (Quindío), Colombia*. Colombia. Programa de licenciatura.
- 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,
- Gerding, V., y Thiers, O., (2002). *Caracterización de suelos bajo bosques de Nothofagus betuloides (Mirb) Blume, en Tierra del Fuego, Chile*. Valdivia-Chile. Universidad Austral de Chile.
- Gómez, G., Cerrón, R., Capcha, T., & Villavicencio, C. (2014). *Evaluación de la tasa de infiltración en tierras agrícolas, forestales y de pastoreo en la subcuenca del río Shullcas*. Artículo Científico.
- Gómez, M. (2011). *Comparación de propiedades edáficas y procesos ecosistémicos entre plantaciones forestales y bosques secundarios subandinos*. Trabajo de Investigación.
- Gómez, P., Hahn, S., y San Martín, J., (2009). *Estructura y composición florística de un matorral bajo plantaciones de Pinus radiata D. Don en Chile Central*. Chile. Universidad de Talca.
- González, A., Rivera, M., Ortiz, C., Almaraz, J., Trujillo, A., y Cruz, G., (2013). *Uso de fertilizantes orgánicos para la mejora de propiedades químicas y microbiológicas del suelo y del crecimiento del cítrico Citrange troyer*. Tabasco-México. Programa en producción Agroalimentaria en el Trópico.
- 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.
- Guzmán, A., Zambrano, D., Rivera, R., Rondón, A., y Pérez, M., (2015). *Aislamiento y selección de bacterias autóctonas de Manabí-Ecuador con actividad celulolítica*. Ministerio de Educación Superior Cuba. Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrarias.
- Guzmán, E., (2011). *Aislamiento y caracterización de bacterias solubilizadoras de fósforo a partir de cuatro suelos de la provincia de Chimborazo*. Chimborazo-Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Huerta, H. (2010). *Determinación de propiedades físicas y químicas de suelo con mercurio en la región de San Joaquín, Qro., y su relación con el crecimiento bacteriano*. Trabajo de Investigación en Biología.
- 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.

- Jaramillo, O., & Martínez, P. (2009). *Evaluación de la inoculación con microorganismos fijadores de nitrógeno asimbióticos aislados de la rizósfera de Pinus patula en Colombia*. Colombia
- 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.
- La Manna, L., Buduba, C., Alonso, V., Davel, M., Puentes, C., y Irisarri, J., (2007). *Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región Andino-Patagónica: efectos de la vegetación y el tipo de suelo*. Argentina. Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP).
- López, G., Almonte, I., Pérez, A., Sotomayor, D., y Nuñez, P., (2014) *Caracterización Biológica de suelos y sustrato empleados n 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.
- Lusk, C., Donoso, C., Jiménez, M., Moya, C., Oyarce, G., Reinoso, R., Saldaña, A., Villegas, P., y Matus, F., (2001). *Descomposición de hojarasca de Pinus radiata y tres especies arbóreas nativas*. Chile. Revista chilena de historia natural.
- 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.

- Mantilla, A., Cardona, G., Peña, C., Murcia, U., Rodríguez, M., y Zambrano, M., (2009) *Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonía colombiana*. Bogotá DC-Colombia. Instituto Amazónico de Investigación Científica-SINCHI.
- Mead, J., (2013) *Sustainable management of Pinus radiata plantations*. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Medina, L., Sánchez, H., y Vásquez, J., (2011). *Diagnóstico de los suelos de la cuenca hidrográfica del río Valdivia*. Guayaquil-Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- 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.
- Molina, L., Giraldo, L., Polanco, D., y Gutiérrez, L., (2015). *Densidad poblacional de bacterias celulolíticas y de Butyrivibrio fibriosolvens al suplementar dietas forrajeras (Pennisetum clandestinum)*. Medellín-Colombia. Universidad de Antioquia.
- 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.

- PDTO Angochagua, (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de Angochagua 2015*. Ibarra, Imbabura, Ecuador.
- PDTO Ayora, (2015). *Actualización plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia San José de Ayora, cantón Cayambe, provincia de Pichincha 2015*. Cayambe, Pichincha, Ecuador.
- PDTO Quichinche, (2015). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia San José de Quichinche Actualización 2015-2019*. Otavalo, Imbabura, 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 Crotton 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.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). *Propiedades Físicas del Suelo*. Departamento de Suelos.
- Sánchez, F., & Rodríguez, R.,. (2002). *Selvicultura de Pinus radiata*. Departamento de Producción Vegetal.
- Sánchez, T., Aldrete, A., Cetina, V., & López, J.,. (2007). *Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín*. Madera y Bosques.
- Schlatter, J., & Otero, L.,. (1995). *Efecto del Pinus radiata sobre las características químico-nutritivas del suelo mineral superficial*. Universidad Austral de Chile.

- 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.
- Trujillo, E., (2014) *Plantación Forestal: Planeación para el éxito*. Colombia. 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.
- Varela, A., Aguilera, M., Vélez, B., & Flórez, C., (2010). *Evaluación preliminar de grupos funcionales bacterianos como indicadores de calidad de suelos en zona cafetera*. Departamento de Biología.
- 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
- Zérega, L., Hernández, T., y Valladares, J., (1997) *Efecto de diferentes fuentes de nitrógeno y dosis de magnesio sobre el suelo y el cultivo de caña de azúcar*. Venezuela. Bioagro.
- Zotarelli, L., Dukes, M., y Morgan, K., (2013) *Interpretación del Contenido de la Humedad del Suelo para Determinar Capacidad de Campo y Evitar Riego Excesivo en Suelos Arenosos Utilizando Sensores de Humedad*. USA. University of Floryda.

CAPÍTULO VII

ANEXOS

ANEXO 1.

Ubicación del sitio

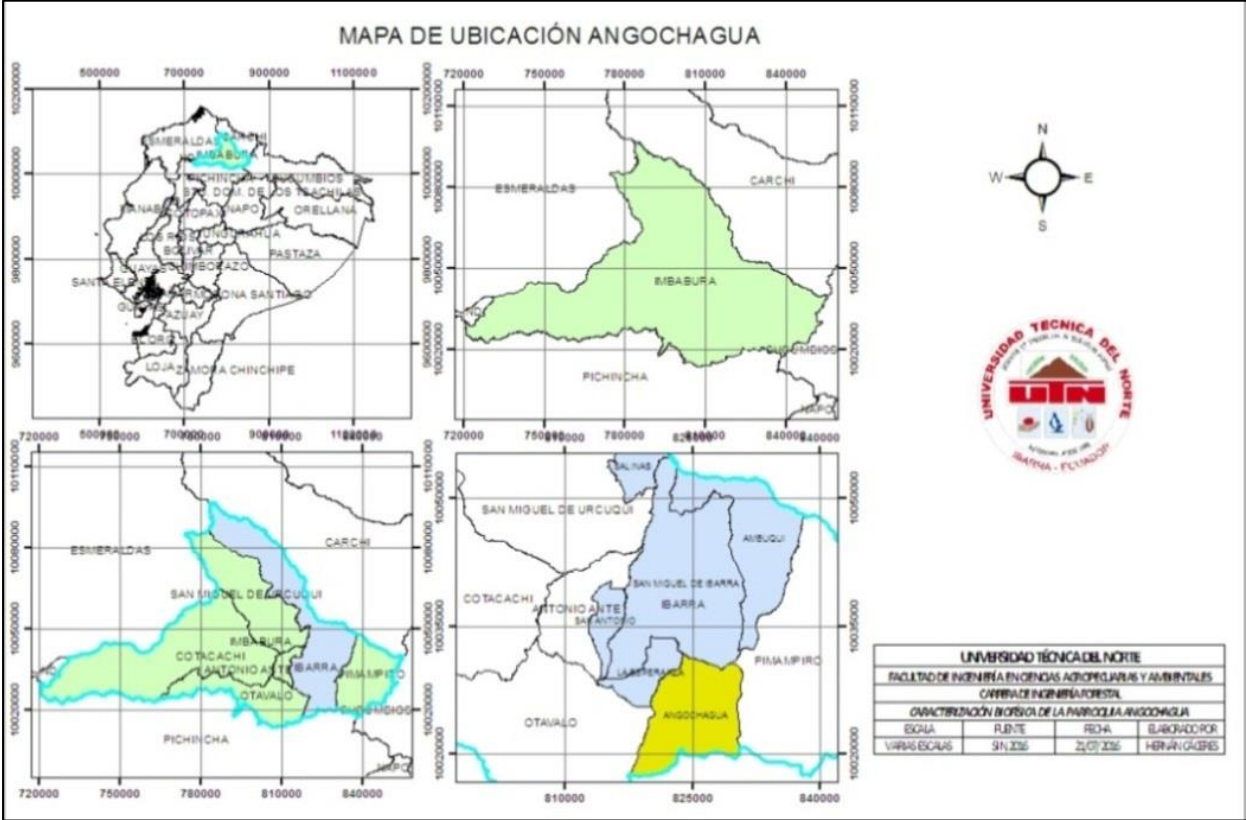


Figura 1. Ubicación del sitio de la plantación Zuleta

Elaborado por: David Cáceres

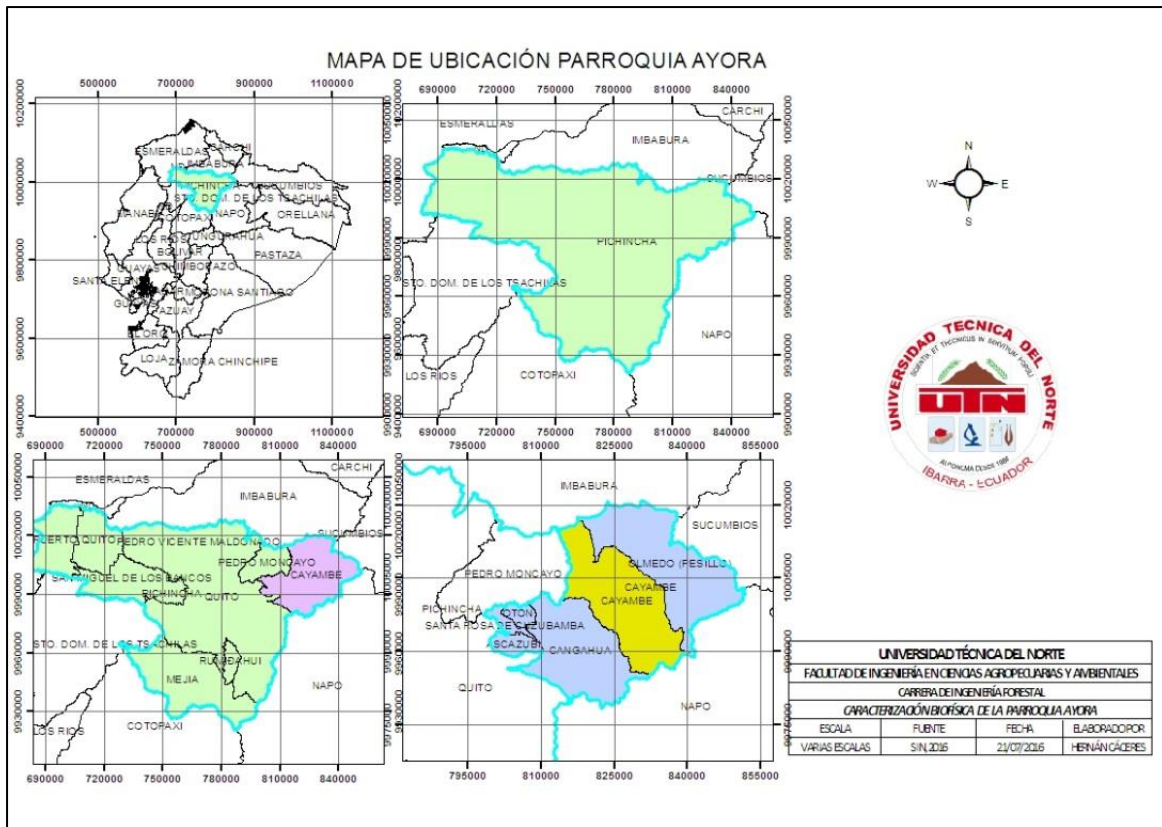


Figura 2. Ubicación del sitio de la plantación Cajas
 Elaborado por: Hernán David Cáceres Alvarán.

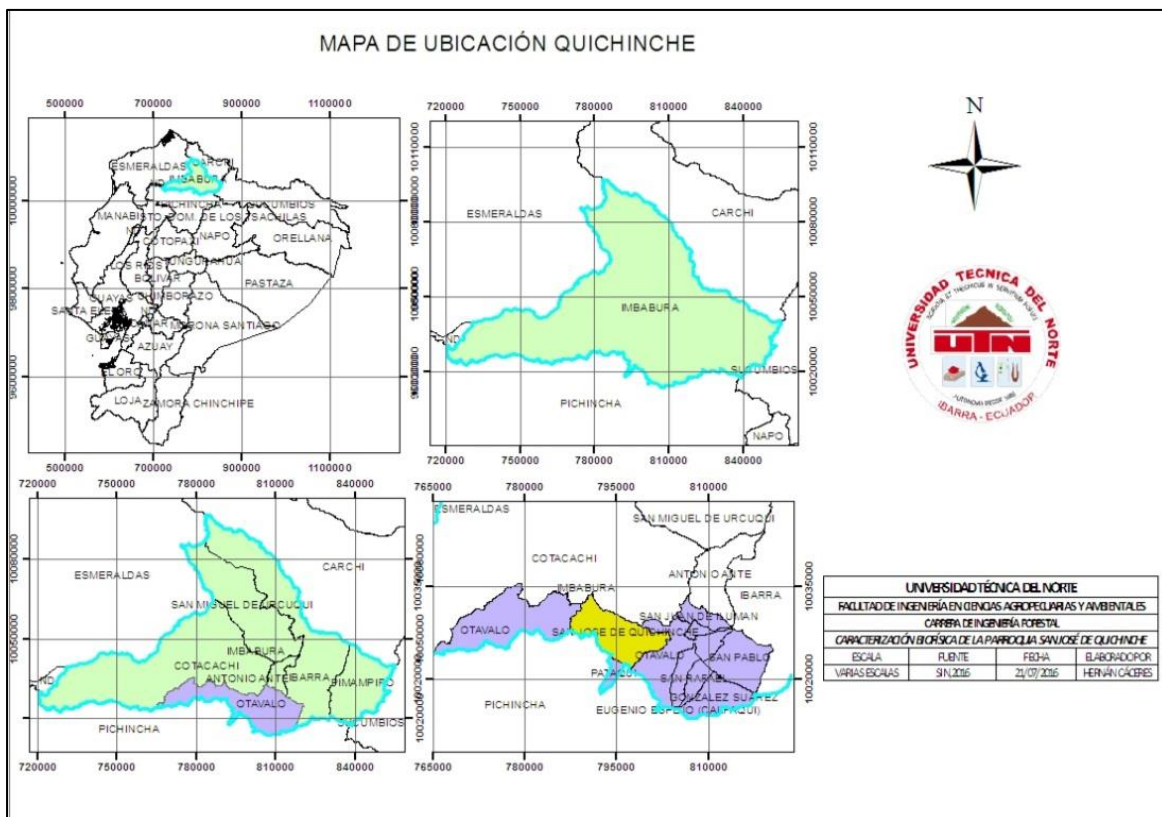


Figura 3. Ubicación del sitio de la plantación Achupallas
 Elaborado por: David Cáceres

ANEXO 2

Mapa superficie de las plantaciones

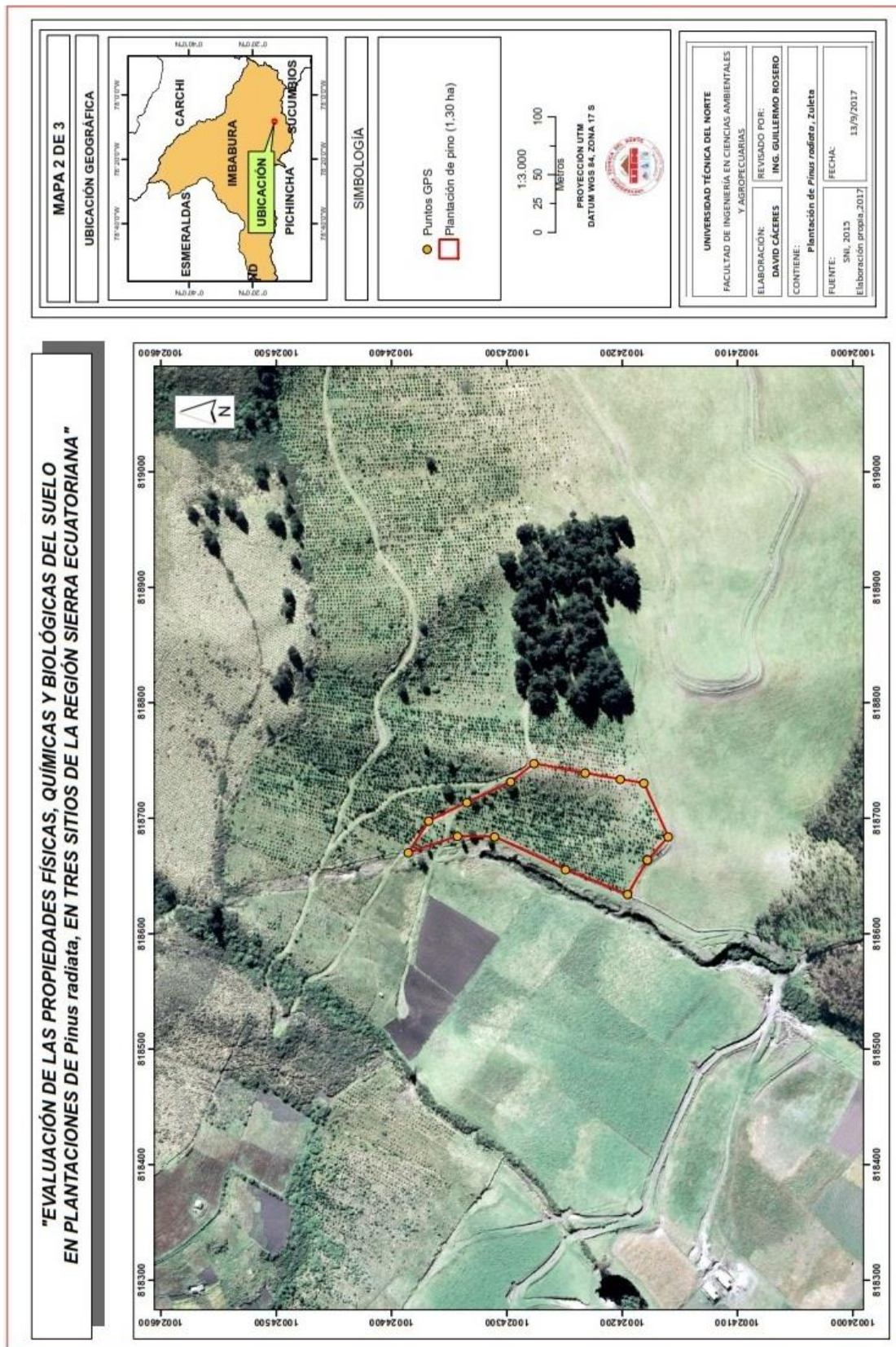
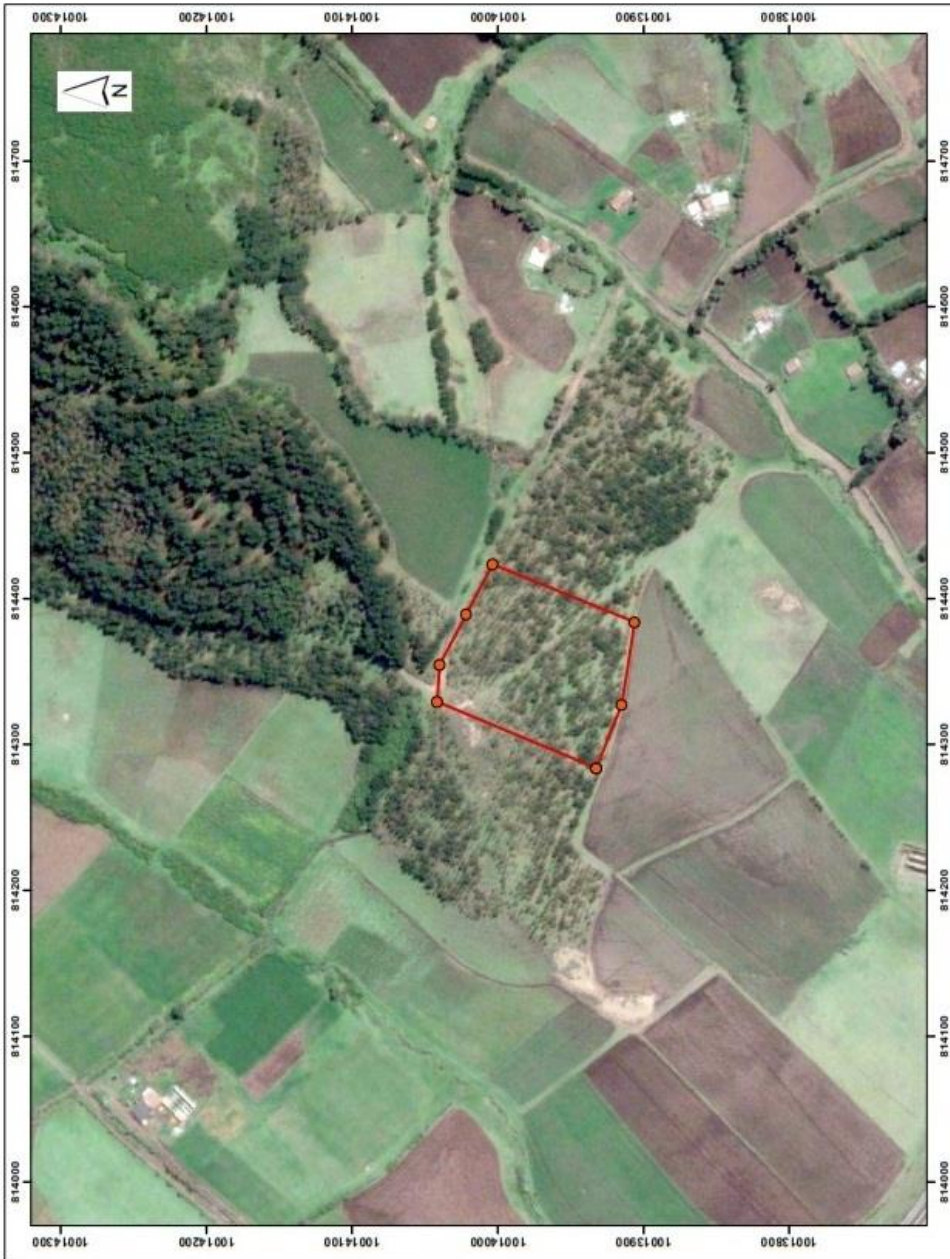


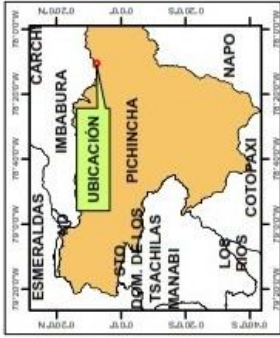
Figura 4. *Plantación Pinus radiata*, Zuleta
Elaborado por: David Cáceres

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



MAPA 3 DE 3

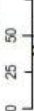
UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- Legend
- Puntos GPS
- Plantación de pino (1,21 ha)

1:3.000



PROYECCIÓN UTM
DATUM WGS 84, ZONA 17 S



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
Y AGROPECUARIAS

ELABORACIÓN: DAVID CÁCERES
REVISADO POR: ING. GUILLERMO ROSERO

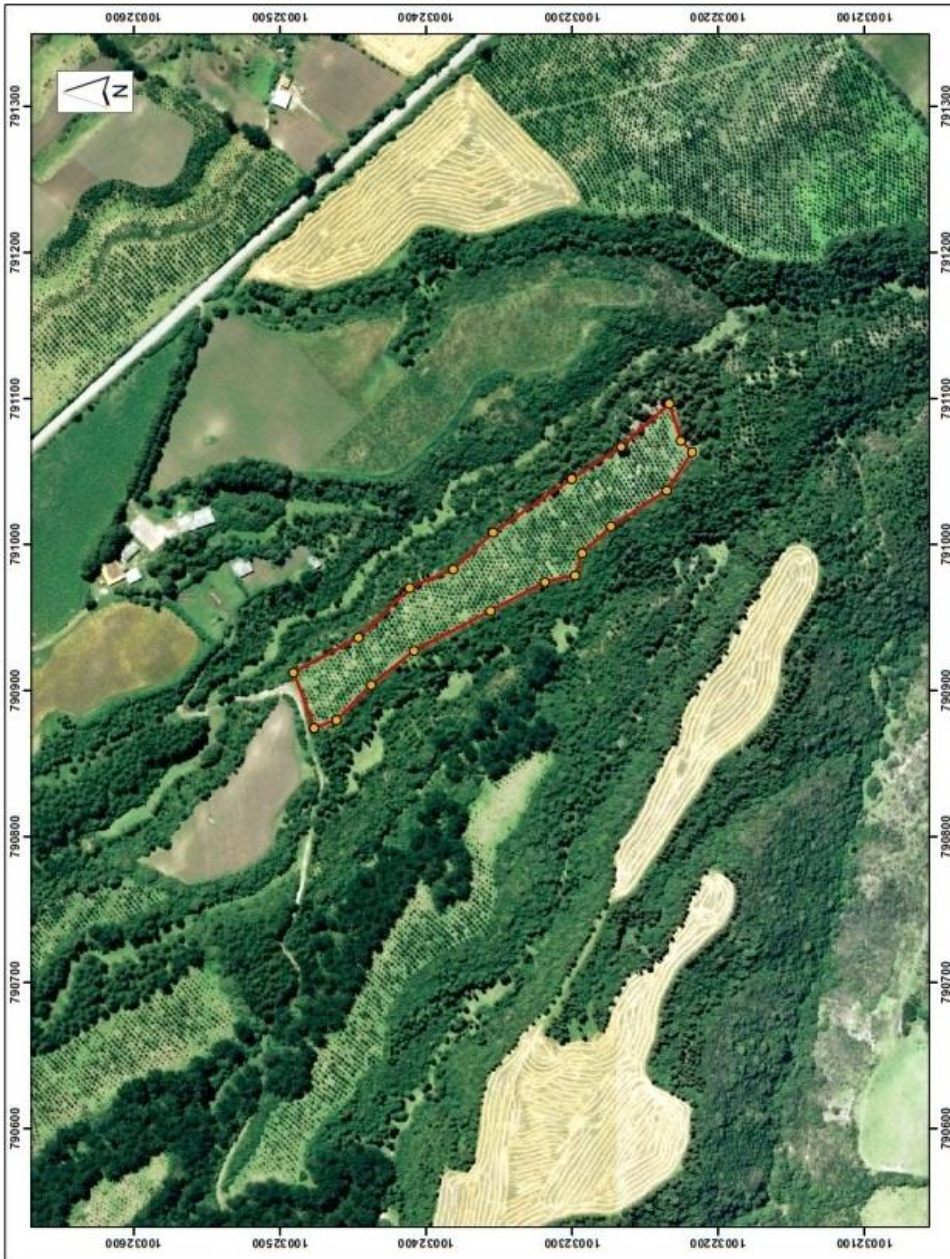
CONTIENE: Plantación de Pinus radiata, San Isidro de Cajas.

FUENTE: SNI, 2015
Elaboración propia, 2017

FECHA: 13/9/2017

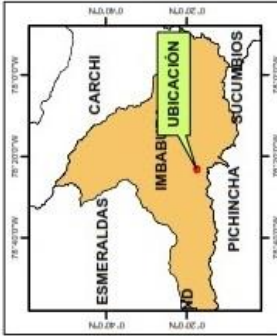
Figura 5. Plantación Pinus radiata San Isidro de Cajas Elaborado por: David Cáceres

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



MAPA 1 DE 3

UBICACIÓN GEOGRÁFICA



SIMBOLOGÍA

- Puntos GPS
- Plantación de pino (1,29 ha)



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES
Y AGROPECUARIAS

ELABORACIÓN:
DAVID CÁCERES

REVISADO POR:
ING. GUILLERMO ROSERO

CONTIENE:
Plantación de *Pinus radiata*, Achupallas

FUENTE:
SIN, 2013

FECHA:
13/9/2017

Elaboración propia, 2017

Figura 6. *Plantación Pinus radiata* Achupallas
Elaborado por: David Cáceres

ANEXO 3

Tabla de Interpretación de Resultados región Sierra Agrocalidad.

Tabla 12

Interpretación macronutrientes

Parámetro	Macronutrientes					
	N (%)	P (ppm)	K (cmol/kg)	Ca (cmol/kg)	Mg (cmol/kg)	S (ppm)
Bajo	0 - 0.15	0 - 10.0	< 0.2	< 1.0	< 0.33	< 12.0
Medio	0.16 - 0.3	11.0 - 20.0	0.2 - 0.38	1.0 - 3.0	0.34 - 0.66	12.0 - 24.0
Alto	> 0.31	> 21.0	> 0.4	> 3.0	> 0.66	> 24.0

Fuente: Agrocalidad 2017

Tabla 13

Interpretación materia orgánica y micronutrientes

Parámetro	MO (%)	Micronutrientes				
		Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	B (ppm)
Bajo	< 1.0	0 - 20.0	0 - 5.0	0 - 1.0	0 - 3.0	< 1.0
Medio	1.0-2.0	21.0 - 40.0	6.0 - 15.0	1.1 - 4.0	3.1 - 6.0	1.0 - 2.0
Alto	> 2.0	> 41.0	> 16.0	> 4.1	> 6.1	> 2.0

Fuente: Agrocalidad 2017

ANEXO 4

Tablas de reactivos utilizados

Tabla 14

Medio para celulolíticos

Componentes	Cantidad g/L
Celulosa	2.00
KH ₂ PO ₄	0.50
MgSO ₄	0.25
Rojo Congo	0.20
Gelatina sin sabor	2.00
Agar	15.00
Nistatina	1 ml

Elaborado por: David Cáceres

Tabla 15

Medio para fijadores de nitrógeno

Componentes	Cantidad g/L
Sacarosa	10.00
K ₂ HPO ₄	0.50
MgCl ₂	0.20
NaCl	0.20
CaCO ₃	3.00
FeCl ₃	0.050
MnSO ₄	0.050
Agar	15.00
Nistatina	1 ml

Elaborado por: David Cáceres**Tabla 15**

Medio para solubilizadoras de fosfato

Componentes	Cantidad g/L
Glucosa	10.00
Ca ₃ (PO ₄) ₂	5.00
(NH ₄) ₂ SO	0.50
KCl	0.20
MgSO ₄	0.10
MnSO ₄	0.10
Agar	15.00
Nistatina	1 ml

Elaborado por: David Cáceres

ANEXO 5

Tabla de datos inventario forestal

Tabla 16

Inventario forestal *Pinus radiata* Zuleta

Zuleta				Zuleta				Zuleta			
#	Ht (m)	DAP (m)	Vol. (m ³)	#	Ht (m)	DAP (m)	Vol. (m ³)	#	Ht (m)	DAP (m)	Vol. (m ³)
1	10	0,21	0,243	36	13	0,24	0,397	71	10	0,15	0,128
2	10	0,20	0,221	37	12	0,15	0,157	72	10	0,08	0,036
3	9	0,12	0,074	38	10	0,09	0,042	73	12	0,27	0,489
4	12	0,27	0,494	39	10	0,13	0,094	74	11	0,16	0,147
5	11	0,25	0,378	40	12	0,12	0,099	75	6,5	0,10	0,034
6	10,5	0,12	0,084	41	12	0,19	0,233	76	11	0,21	0,267
7	10	0,15	0,126	42	11	0,18	0,185	77	11	0,17	0,182
8	12	0,19	0,241	43	13	0,29	0,620	78	10	0,13	0,094
9	8	0,24	0,257	44	11	0,18	0,185	79	8	0,11	0,050
10	12	0,24	0,376	45	13	0,32	0,731			TOTAL	21,540
11	12	0,22	0,309	46	10	0,12	0,085		11,21	0,19	0,273
12	12	0,23	0,351	47	11	0,31	0,582				
13	11	0,23	0,318	48	10	0,11	0,072				
14	11	0,19	0,224	49	13	0,27	0,511				
15	12	0,18	0,225	50	12	0,22	0,309				
16	11	0,20	0,251	51	12	0,27	0,472				
17	13	0,31	0,681	52	11	0,21	0,255				
18	11	0,15	0,130	53	12	0,26	0,449				
19	13	0,28	0,574	54	12	0,22	0,328				
20	12,5	0,21	0,299	55	11	0,18	0,199				
21	8	0,27	0,322	56	12	0,23	0,337				
22	12	0,20	0,257	57	13	0,25	0,441				
23	14	0,24	0,450	58	1,5	0,02	0,000				
24	11	0,18	0,189	59	12	0,24	0,376				
25	13	0,21	0,306	60	11	0,14	0,124				
26	12	0,13	0,118	61	12	0,24	0,366				
27	13	0,20	0,297	62	13	0,24	0,418				
28	12	0,25	0,412	63	11	0,10	0,065				
29	11	0,19	0,228	64	13	0,24	0,397				
30	15	0,35	1,030	65	11	0,19	0,228				
31	11	0,18	0,192	66	10	0,11	0,061				
32	14	0,22	0,388	67	8	0,07	0,019				
33	13	0,25	0,429	68	11	0,19	0,217				
34	12	0,20	0,274	69	11	0,20	0,251				
35	4,5	0,04	0,003	70	9	0,11	0,060				

Elaborado por: David Cáceres

Tabla 17Inventario forestal *Pinus radiata* Cajas

Cajas				Cajas			
#	Ht (m)	DAP (m)	Vol. (m ³)	#	Ht (m)	DAP (m)	Vol. (m ³)
1	9	0,13	0,08	36	11	0,11	0,07
2	10,5	0,29	0,47	37	14	0,33	0,84
3	12	0,30	0,58	38	14	0,27	0,55
4	10	0,16	0,14	39	13	0,16	0,19
5	12	0,30	0,58	40	11	0,12	0,09
6	7	0,11	0,05	41	11	0,14	0,13
7	11	0,33	0,67	42	14	0,42	1,39
8	11	0,16	0,15	43	13	0,13	0,12
9	9	0,14	0,10	44	14	0,22	0,36
10	11	0,21	0,25	45	14	0,34	0,90
11	12	0,37	0,88	46	14	0,33	0,83
12	8	0,11	0,05	47	9	0,19	0,18
13	12,5	0,38	0,99	48	7	0,07	0,02
14	11,5	0,11	0,08	49	12	0,21	0,28
15	12	0,16	0,17	50	13	0,31	0,70
16	12	0,12	0,09	51	12	0,23	0,36
17	12	0,20	0,25	52	12	0,22	0,31
18	11	0,16	0,16	53	8	0,11	0,05
19	10	0,14	0,11	54	11	0,19	0,22
20	9	0,18	0,16	55	11	0,24	0,35
21	8	0,11	0,05	56	10	0,16	0,13
22	13	0,23	0,37	57	11	0,29	0,52
23	12	0,19	0,25	58	10	0,16	0,13
24	13	0,32	0,71	59	9	0,12	0,07
25	12,5	0,21	0,29	60	11	0,12	0,09
26	10	0,09	0,04	61	13	0,30	0,65
27	8	0,08	0,03	62	12	0,19	0,23
28	9	0,20	0,19	63	8	0,09	0,03
29	11	0,14	0,12	64	10	0,11	0,07
30	12	0,22	0,32	65	14	0,32	0,78
31	12	0,29	0,55	66	9	0,10	0,05
32	12	0,20	0,27	67	14	0,38	1,11
33	10	0,18	0,18	68	13	0,21	0,32
34	13	0,20	0,27		Promedio	TOTAL	21,86
35	12	0,12	0,10		11,25	0,20	0,32

Elaborado por: David Cáceres

Tabla 18Inventario forestal *Pinus radiata* Achupallas

Achupallas				Achupallas				Achupallas			
#	Ht (m)	DAP (m)	Vol. (m ³)	#	Ht (m)	DAP (m)	Vol. (m ³)	#	Ht (m)	DAP (m)	Vol. (m ³)
1	12	0,185	0,22	36	11	0,191	0,22	71	12	0,331	0,72
2	11	0,172	0,18	37	12	0,159	0,17	72	9	0,140	0,10
3	12	0,191	0,24	38	12	0,194	0,25	73	11	0,232	0,33
4	10	0,111	0,07	39	10	0,137	0,10	74	12	0,191	0,24
5	11	0,306	0,56	40	11	0,162	0,16	75	4,5	0,035	0,00
6	10	0,115	0,07	41	13	0,293	0,61	76	11	0,156	0,15
7	12	0,213	0,30	42	12	0,290	0,55	77	11	0,181	0,20
8	11	0,159	0,15	43	8	0,080	0,03	78	12	0,137	0,12
9	7	0,099	0,04	44	12	0,197	0,26	79	14	0,245	0,46
10	10	0,083	0,04	45	12	0,239	0,38	80	13	0,318	0,72
11	10	0,131	0,09	46	12	0,121	0,10	81	11	0,175	0,19
12	11	0,239	0,34	47	12	0,220	0,32	82	13	0,236	0,40
13	11	0,172	0,18	48	12	0,191	0,24	83	12	0,188	0,23
14	13	0,296	0,63	49	11	0,140	0,12	84	11	0,140	0,12
15	8	0,108	0,05	50	14,5	0,286	0,65	85	14	0,242	0,45
16	12	0,188	0,23	51	11	0,194	0,23		Promedio	TOTAL	22,13
17	12	0,271	0,48	52	11	0,159	0,15		11,14	0,188	0,26
18	11	0,239	0,34	53	11	0,207	0,26				
19	12	0,223	0,33	54	12	0,188	0,23				
20	10	0,207	0,24	55	8	0,073	0,02				
21	8	0,086	0,03	56	13	0,267	0,51				
22	10	0,210	0,24	57	10	0,124	0,08				
23	10	0,105	0,06	58	10	0,178	0,17				
24	8	0,067	0,02	59	12	0,204	0,27				
25	11	0,201	0,24	60	12	0,118	0,09				
26	9	0,111	0,06	61	9	0,111	0,06				
27	12	0,223	0,33	62	12	0,296	0,58				
28	11	0,191	0,22	63	9	0,140	0,10				
29	10	0,143	0,11	64	12	0,210	0,29				
30	12	0,220	0,32	65	13	0,302	0,65				
31	12	0,124	0,10	66	12	0,194	0,25				
32	12	0,169	0,19	67	12	0,137	0,12				
33	13	0,376	1,01	68	10	0,150	0,12				
34	12	0,188	0,23	69	12	0,236	0,37				
35	12	0,293	0,57	70	13	0,248	0,44				

Elaborado por: David Cáceres

ANEXO 6.

Infiltración básica de los sitios

Tabla 19

Infiltración básica Zuleta

Plantación de <i>Pinus radiata</i> Zuleta				
Lectura	Tiempo (min)	Nivel de agua (cm)	Diferencial (cm)	Tasa de Infiltración (mm/h)
1	0	50	0	-
2	5	44,9	5,1	612
3	10	41,3	3,6	216
4	15	38,8	2,5	100
5	20	36,5	2,3	69
6	30	33	3,5	70
7	40	30,3	2,7	40,5
8	50	28	2,3	27,6
9	60	25,9	2,1	21
10	70	24,3	1,6	13,71
11	80	22,9	1,4	10,5
12	90	21,5	1,4	9,33
13	100	20	1,5	9
14	110	19	1	5,45
15	120	18	1	5
16	130	17	1	4,62
17	140	16,1	0,9	3,86
18	150	15,3	0,8	3,2
19	160	14,4	0,9	3,38
			Promedio	3,38

Elaborado por: David Cáceres

Tabla 20

Infiltración básica Cajas

Plantación <i>Pinus radiata</i> Cajas				
Lectura	Tiempo (min)	Nivel de agua (cm)	Diferencial (cm)	Tasa de Infiltración (mm/h)
1	0	55	0	-
2	5	53	2	240
3	10	51,8	1,2	72
4	16,17	50,5	1,3	48,25
5	21,5	49,4	1,1	30,70
6	31,5	47,6	1,8	34,29
7	41,5	46	1,6	23,13
8	51,5	44,4	1,6	18,64
9	61,5	43,1	1,3	12,68
10	71,5	41,9	1,2	10,07
11	81,5	40,5	1,4	10,31
12	91,5	39,5	1	6,56
13	101,5	38,5	1	5,91
14	111,5	37,4	1,1	5,92
15	121,5	36,3	1,1	5,43
16	131,5	35,4	0,9	4,11
17	141,5	34,4	1	4,24
18	151,5	33,5	0,9	3,56
19	161,5	32,5	1	3,56
			Promedio	3.56

Elaborado por: David Cáceres

Tabla 21

Infiltración Achupallas

Plantación <i>Pinus radiata</i> Achupallas				
Lectura	Tiempo (min)	Nivel de agua (cm)	Diferencial (cm)	Tasa de Infiltración (mm/h)
1	0	50	0	-
2	2,5	47.9	2,1	504
3	6,5	45.8	2,1	193,84
4	11,92	42.5	3,3	166,15
5	16,5	40.5	2	72,72
6	25	37.5	3	72
7	30,47	34.1	3,4	57,52
8	50,43	31.5	2,6	34,34
9	60,75	29.8	1,7	18,30
10	70,5	26.5	3,3	30,23
11	80,5	24.5	2	15,90
12	90,5	22.5	2	14,04
13	100,5	21.1	1,4	8,80
14	110,5	19.6	1,5	8,53
15	120,5	18.00	1,6	8,31
16	130,5	16.6	1,4	6,69
17	140,5	15.5	1,1	4,87
18	150,5	14.2	1,3	5,36
19	160,5	13.2	1	3,86
			Promedio	3.86

Elaborado por: David Cáceres

ANEXO 7

Evidencia fotográfica fase de campo



Ilustración 1. Señalamiento con el Jalón
Fuente: David Cáceres



Ilustración 2. Obtención puntos GPS
Fuente. David Cáceres



Ilustración 3. Muestreo de Suelos
Fuente: David Cáceres



Ilustración 4. Muestra Compuestas de Zuleta, Cajas y Achupallas
Fuente: David Cáceres

ANEXO 8

Evidencia fotográfica fase de laboratorio



Ilustración 5. Determinación del color del suelo.
Fuente: David Cáceres

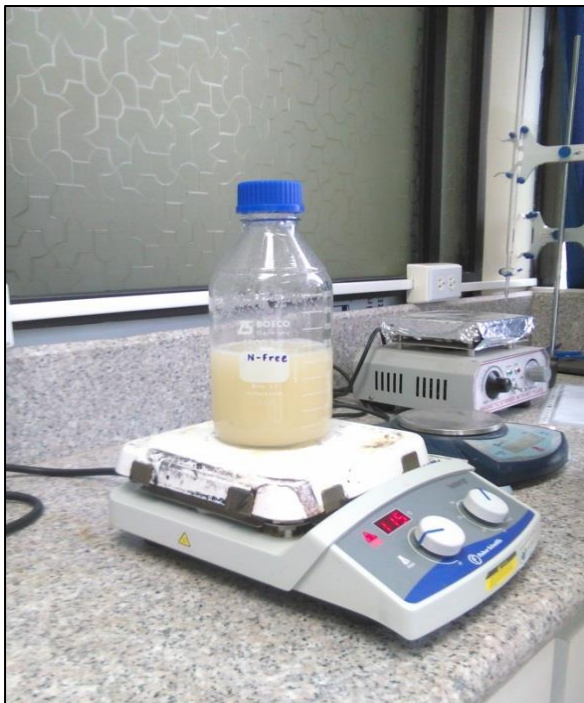


Ilustración 6. Preparación medio PVK
Fuente: David Cáceres



Ilustración 7. Medio Agar Celulosa
Fuente: David Cáceres



Ilustración 8. *Pesaje de 10 g de suelo*
Fuente: David Cáceres



Ilustración 9. *Pesaje de 10 g de suelo*
Fuente: David Cáceres



Ilustración 10. *Suspensión de suelo en SSE.*
Fuente: David Cáceres



Ilustración 11. *Suspensión de suelo en SSE.*
Fuente: David Cáceres

ANEXO 9

Evidencia fotográfica resultados obtenidos en laboratorio

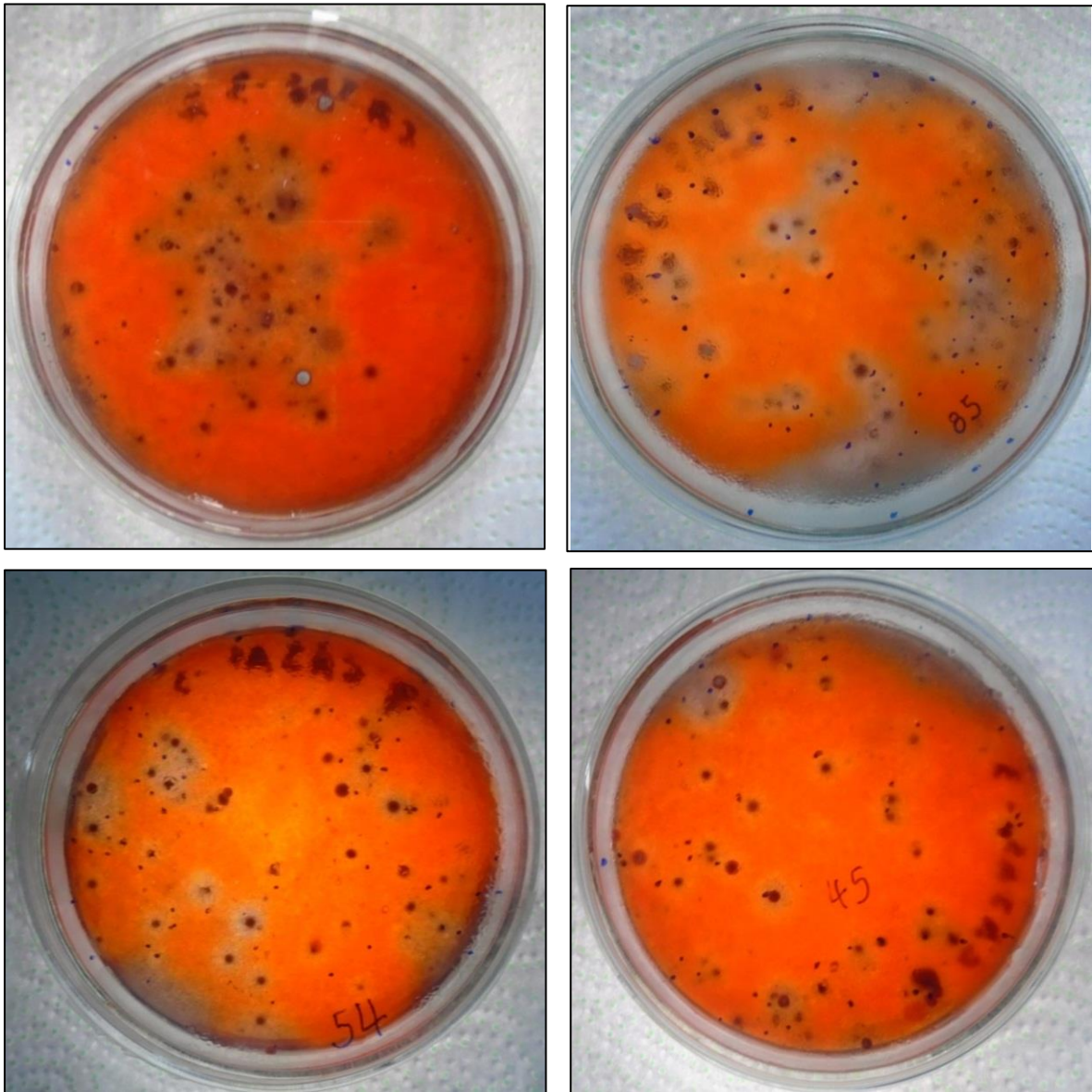


Ilustración 12. *Bacterias degradadoras de celulosa*
Fuente: David Cáceres

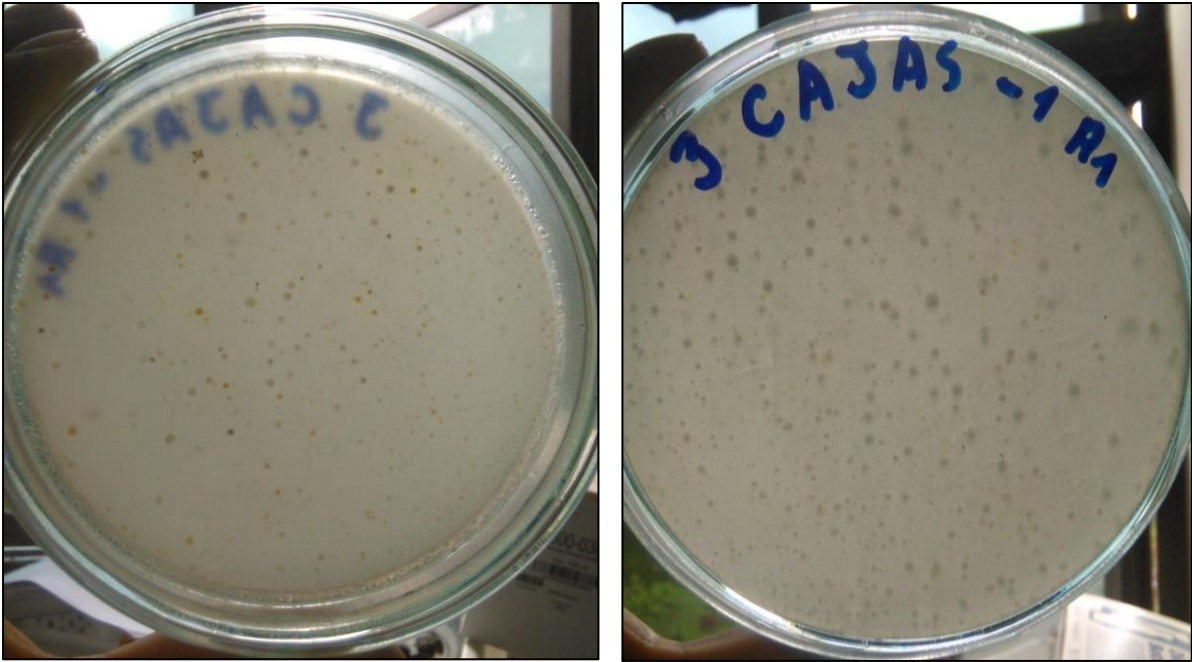


Ilustración 13. *Densidad poblacional de colonias de bacterias fijadoras de nitrógeno.*
Fuente: David Cáceres

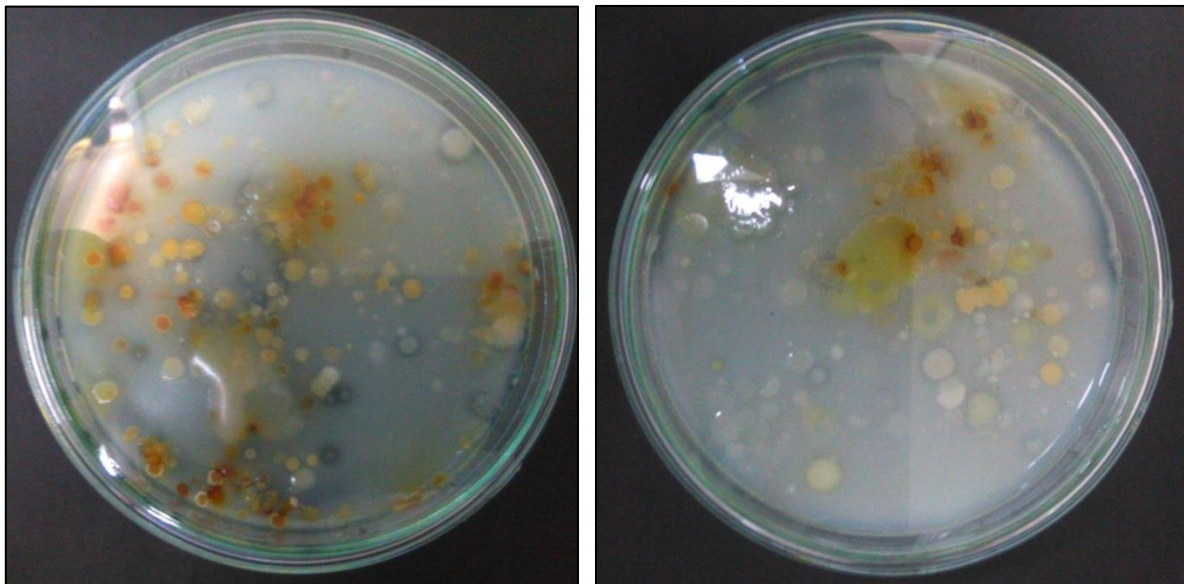


Ilustración 14. *Bacterias Solubilizadoras de Fósforo*
Fuente: David Cáceres

ANEXO 10

Evidencia fotográfica inventario forestal



Ilustración 15. *Medición de la parcela de 1000m².*
Fuente: David Cáceres



Ilustración 16. *Señalamiento del árbol*
Fuente: David Cáceres



Ilustración 17. *Medición de DAP del árbol.*
Fuente: David Cáceres



Ilustración 18. *Medición de Ht del árbol.*
Fuente: David Cáceres

ANEXO 11

Resultados de análisis de suelos

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 2
	Hoja 1 de 2	

Informe N°: LN-SFA-E16-0267
 Fecha emisión Informe: 09/03/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Universidad Técnica del Norte

Dirección: Atahualpa e Imbabura

Provincia: Imbabura

Cantón: Otavalo

Teléfono: 0969983551

Correo Electrónico: cacereshdavid@hotmail.com

N° Orden de Trabajo: SFA-16-CGLS-0572

N° Factura/Documento: 5344

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco
Cultivo: Pino	
Provincia: Imbabura	X: ----
Cantón: Ibarra	Coordenadas: Y: ----
Parroquia: Angochagua	Altitud: ----
Muestreado por: David Cáceres	
Fecha de muestreo: Varias	Fecha de inicio de análisis: 24-02-2016
Fecha de recepción de la muestra: 24-02-2016	Fecha de finalización de análisis: 09-03-2016

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-160347	Zuleta 1	pH	Potenciométrico	---	5,48
		Materia Orgánica	Volumétrico	%	6,15
		Nitrógeno	Volumétrico	%	0,3
		Fósforo	Colorimétrico	ppm	29,4
		Potasio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,19
		Calcio	Absorción Atómica	cmol/kg	7,78
		Magnesio	Absorción Atómica	cmol/kg	1,22
		Hierro	Absorción Atómica	ppm	764
		Manganeso	Absorción Atómica	ppm	9,06
		Cobre	Absorción Atómica	ppm	7,96
		Zinc	Absorción Atómica	ppm	2,19
		Boro	Colorimétrico	ppm	0,97
		Azufre	Turbidimétrico	ppm	8,17
		Aluminio	Volumétrico	meq/100g	0,20
		CIC	Absorción Atómica	cmol/kg	21,98

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-F001
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 2 Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E16-0268
 Fecha emisión Informe: 09/03/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Universidad Técnica del Norte

Dirección: Atahualpa e Imbabura

Provincia: Imbabura

Cantón: Otavalo

Teléfono: 0969983551

Correo Electrónico: cacereshdavid@hotmail.com

N° Orden de Trabajo: SFA-16-CGLS-0572

N° Factura/Documento: 5344

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: Pino		
Provincia: Imbabura	Coordenadas:	X: ----
Cantón: Ibarra		Y: ----
Parroquia: Angochagua		Altitud: ----
Muestreado por: David Cáceres		
Fecha de muestreo: Varias	Fecha de inicio de análisis: 24-02-2016	
Fecha de recepción de la muestra: 24-02-2016	Fecha de finalización de análisis: 09-03-2016	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-160348	Zuleta 2	pH	Potenciométrico	---	5,33
		Materia Orgánica	Volumétrico	%	7,45
		Nitrógeno	Volumétrico	%	0,37
		Fósforo	Colorimétrico	ppm	31,2
		Potasio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,24
		Calcio	Absorción Atómica	cmol/kg	6,45
		Magnesio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,81
		Hierro	Absorción Atómica	ppm	700,2
		Manganeso	Absorción Atómica	ppm	17,80
		Cobre	Absorción Atómica	ppm	7,74
		Zinc	Absorción Atómica	ppm	2,77
		Boro	Colorimétrico	ppm	< 0,50
		Azufre	Turbidimétrico	ppm	11,84
		Aluminio	Volumétrico	meq/100g	0,40
CIC	Absorción Atómica	cmol/kg	24,91		

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 2 Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E16-1622
 Fecha emisión Informe: 01/11/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Universidad Técnica del Norte / Agrocalidad Imbabura
 Dirección: Otavalo **Teléfono:** 0969983551
Correo Electrónico: cacereshdavid@hotmail.com
 Provincia: Imbabura **Cantón:** Otavalo **N° Orden de Trabajo:** 10-2016-0032
N° Factura/Documento: 2648

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: Pino		
Provincia: Imbabura	Coordenadas:	X: ----
Cantón: Ibarra		Y: ----
Parroquia: Angochagua	Altitud: 3424 msnm	
Muestreado por: David Cáceres		
Fecha de muestreo: 19-10-2016	Fecha de inicio de análisis: 20-10-2016	
Fecha de recepción de la muestra: 20-10-2016	Fecha de finalización de análisis: 01-11-2016	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-162030	Zuleta 3	pH	Potenciométrico	---	5,41
		Materia Orgánica	Volumétrico	%	7,52
		Nitrógeno	Volumétrico	%	0,38
		Fósforo	Colorimétrico	ppm	24,2
		Potasio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,26
		Calcio	Absorción Atómica	cmol/kg	4,41
		Magnesio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,52
		Hierro	Absorción Atómica	ppm	787,3
		Manganeso	Absorción Atómica	ppm	18,98
		Cobre	Absorción Atómica	ppm	9,93
		Zinc	Absorción Atómica	ppm	2,33
		Boro	Colorimétrico	ppm	< 0,50
		Azufre	Turbidimétrico	ppm	10,97
		CIC	Absorción Atómica	cmol/kg	24,04

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 2
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E16-1621
 Fecha emisión Informe: 01/11/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Universidad Técnica del Norte / Agrocalidad Imbabura
Dirección: Otavalo **Teléfono:** 0969983551
Provincia: Imbabura **Cantón:** Otavalo **Correo Electrónico:** cacereshdavid@hotmail.com
N° Orden de Trabajo: 10-2016-0032
N° Factura/Documento: 2648

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco		
Cultivo: Pino			
Provincia: Pichincha	Coordenadas:	X: ----	
Cantón: Cayambe		Y: ----	
Parroquia: Ayora		Altitud: 3224 msnm	
Muestreado por: David Cáceres			
Fecha de muestreo: 19-10-2016	Fecha de inicio de análisis: 20-10-2016		
Fecha de recepción de la muestra: 20-10-2016	Fecha de finalización de análisis: 01-11-2016		

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-162029	Cajas 1	pH	Potenciométrico	---	5,62
		Materia Orgánica	Volumétrico	%	3,36
		Nitrógeno	Volumétrico	%	0,17
		Fósforo	Colorimétrico	ppm	30,0
		Potasio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,22
		Calcio	Absorción Atómica	cmol/kg	5,11
		Magnesio	Absorción Atómica	cmol/kg	1,05
		Hierro	Absorción Atómica	ppm	619,7
		Manganeso	Absorción Atómica	ppm	14,2
		Cobre	Absorción Atómica	ppm	7,7
		Zinc	Absorción Atómica	ppm	1,79
		Boro	Colorimétrico	ppm	0,8
		Azufre	Turbidimétrico	ppm	1,6
		CIC	Absorción Atómica	cmol/kg	20,73

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 2 Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E16-1620
 Fecha emisión Informe: 01/11/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Universidad Técnica del Norte / Agrocalidad Imbabura
Teléfono: 0969983551
Dirección: Otavalo
Correo Electrónico: cacereshdavid@hotmail.com
Provincia: Imbabura **Cantón:** Otavalo
N° Orden de Trabajo: 10-2016-0032
N° Factura/Documento: 2648

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: Pino		
Provincia: Pichincha	Coordenadas:	X: ----
Cantón: Cayambe		Y: ----
Parroquia: Ayora		Altitud: 3224 msnm
Muestreado por: David Cáceres		
Fecha de muestreo: 19-10-2016	Fecha de inicio de análisis: 20-10-2016	
Fecha de recepción de la muestra: 20-10-2016	Fecha de finalización de análisis: 01-11-2016	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-162028	Cajas 2	pH	Potenciométrico	---	5,67
		Materia Orgánica	Volumétrico	%	3,09
		Nitrógeno	Volumétrico	%	0,15
		Fósforo	Colorimétrico	ppm	23,6
		Potasio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,21
		Calcio	Absorción Atómica	cmol/kg	7,39
		Magnesio	Absorción Atómica	cmol/kg	1,29
		Hierro	Absorción Atómica	ppm	794,7
		Manganeso	Absorción Atómica	ppm	14,61
		Cobre	Absorción Atómica	ppm	9,68
		Zinc	Absorción Atómica	ppm	1,78
		Boro	Colorimétrico	ppm	0,50
		Azufre	Turbidimétrico	ppm	5,42
CIC	Absorción Atómica	cmol/kg	13,17		

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Rev. 2 Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E16-0266
 Fecha emisión Informe: 09/03/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Universidad Técnica del Norte

Dirección: Atahualpa e Imbabura

Teléfono: 0969983551

Correo Electrónico: cacereshdavid@hotmail.com

Provincia: Imbabura

Cantón: Otavalo

N° Orden de Trabajo: SFA-16-CGLS-0572

N° Factura/Documento: 5344

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo		Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: Pino			
Provincia: Pichincha		Coordenadas:	X: ----
Cantón: Cayambe			Y: ----
Parroquia: Ayora			Altitud: ----
Muestreado por: David Cáceres			
Fecha de muestreo: Varias		Fecha de inicio de análisis: 24-02-2016	
Fecha de recepción de la muestra: 24-02-2016		Fecha de finalización de análisis: 09-03-2016	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-160346	Cajas 3	pH ✓	Potenciométrico	---	5,80
		Materia Orgánica ✓	Volumétrico	%	2,98
		Nitrógeno ✓	Volumétrico	%	0,14
		Fósforo ✓	Colorimétrico	ppm	33,9
		Potasio ✓	Absorción Atómica	cmol/kg	0,28
		Calcio ✓	Absorción Atómica	cmol/kg	6,48
		Magnesio ✓	Absorción Atómica	cmol/kg	1,21
		Hierro ✓	Absorción Atómica	ppm	779,9
		Manganeso ✓	Absorción Atómica	ppm	11,88
		Cobre ✓	Absorción Atómica	ppm	9,75
		Zinc ✓	Absorción Atómica	ppm	2,47
		Boro ✓	Colorimétrico	ppm	0,5
		Azufre ✓	Turbidimétrico	ppm	2,37
		Aluminio ✓	Volumétrico	meq/100g	0,20
		CIC ✓	Absorción Atómica	cmol/kg	17,67

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 2
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E16-0269
 Fecha emisión Informe: 09/03/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Universidad Técnica del Norte

Dirección: Atahualpa e Imbabura

Teléfono: 0969983551

Correo Electrónico: cacereshdavid@hotmail.com

Provincia: Imbabura

Cantón: Otavalo

N° Orden de Trabajo: SFA-16-CGLS-0572

N° Factura/Documento: 5344

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: Pino		
Provincia: Imbabura	Coordenadas:	X: ----
Cantón: Otavalo		Y: ----
Parroquia: Quiquinche		Altitud: ----
Muestreado por: David Cáceres		
Fecha de muestreo: Varias	Fecha de inicio de análisis: 24-02-2016	
Fecha de recepción de la muestra: 24-02-2016	Fecha de finalización de análisis: 09-03-2016	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-160349	Achupallas	pH	Potenciométrico	---	5,96
		Materia Orgánica	Volumétrico	%	4,68
		Nitrógeno	Volumétrico	%	0,23
		Fósforo	Colorimétrico	ppm	19,1
		Potasio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,27
		Calcio	Absorción Atómica	cmol/kg	4,47
		Magnesio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,67
		Hierro	Absorción Atómica	ppm	224,0
		Manganeso	Absorción Atómica	ppm	4,47
		Cobre	Absorción Atómica	ppm	4,42
		Zinc	Absorción Atómica	ppm	1,60
		Boro	Colorimétrico	ppm	0,50
		Azufre	Turbidimétrico	ppm	1,60
		Aluminio	Volumétrico	meq/100g	0,20
		CIC	Absorción Atómica	cmol/kg	16,37

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 2
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E16-1618
 Fecha emisión Informe: 01/11/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Universidad Técnica del Norte / Agrocalidad Imbabura
Dirección: Otavalo **Teléfono:** 0969983551
Provincia: Imbabura **Cantón:** Otavalo **Correo Electrónico:** cacereshdavid@hotmail.com
N° Orden de Trabajo: 10-2016-0032
N° Factura/Documento: 2648


DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: Pino		
Provincia: Imbabura	Coordenadas:	X: ----
Cantón: Otavalo		Y: ----
Parroquia: Quichinche		Altitud: 3200 msnm
Muestreado por: David Cáceres		
Fecha de muestreo: 19-10-2016	Fecha de inicio de análisis: 20-10-2016	
Fecha de recepción de la muestra: 20-10-2016	Fecha de finalización de análisis: 01-11-2016	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-162026	Achupallas 2	pH	Potenciométrico	---	5,91
		Materia Orgánica	Volumétrico	%	5,81
		Nitrógeno	Volumétrico	%	0,29
		Fósforo	Colorimétrico	ppm	13,6
		Potasio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,17
		Calcio	Absorción Atómica	cmol/kg	6,52
		Magnesio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,47
		Hierro	Absorción Atómica	ppm	276,8
		Manganeso	Absorción Atómica	ppm	9,46
		Cobre	Absorción Atómica	ppm	7,56
		Zinc	Absorción Atómica	ppm	1,60
		Boro	Colorimétrico	ppm	0,50
		Azufre	Turbidimétrico	ppm	9,91
		CIC	Absorción Atómica	cmol/kg	15,62

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.

 AGROCALIDAD AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	PGT/SFA/09-FO01
		Rev. 2
	INFORME DE ANÁLISIS DE SUELO	Hoja 1 de 2

Informe N°: LN-SFA-E16-1619
 Fecha emisión Informe: 01/11/2016

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante: Universidad Técnica del Norte / Agrocalidad Imbabura
Dirección: Otavalo **Teléfono:** 0969983551
Provincia: Imbabura **Cantón:** Otavalo **Correo Electrónico:** cacereshdavid@hotmail.com
N° Orden de Trabajo: 10-2016-0032
N° Factura/Documento: 2648

DATOS DE LA MUESTRA:

Tipo de muestra: Suelo	Conservación de la muestra: Lugar fresco y seco	
Cultivo: Pino		
Provincia: Imbabura	Coordenadas:	X: ----
Cantón: Otavalo		Y: ----
Parroquia: Quichinche		Altitud: 3200 msnm
Muestreado por: David Cáceres		
Fecha de muestreo: 19-10-2016	Fecha de inicio de análisis: 20-10-2016	
Fecha de recepción de la muestra: 20-10-2016	Fecha de finalización de análisis: 01-11-2016	

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-162027	Achupallas 3	pH	Potenciométrico	---	5,72
		Materia Orgánica	Volumétrico	%	6,12
		Nitrógeno	Volumétrico	%	0,31
		Fósforo	Colorimétrico	ppm	15,9
		Potasio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,10
		Calcio	Absorción Atómica	cmol/kg	5,37
		Magnesio	Absorción Atómica	cmol/kg	0,27
		Hierro	Absorción Atómica	ppm	332
		Manganeso	Absorción Atómica	ppm	8,02
		Cobre	Absorción Atómica	ppm	7,33
		Zinc	Absorción Atómica	ppm	1,60
		Boro	Colorimétrico	ppm	0,50
		Azufre	Turbidimétrico	ppm	7,51
		CIC	Absorción Atómica	cmol/kg	20,24

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha. Está prohibida la reproducción parcial de este informe.