

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**CARACTERIZACIÓN DE SUELO DEL SECTOR PRUSIA,
PARQUE NACIONAL VOLCÁN IRAZÚ, CON MIRA EN LA
REHABILITACIÓN ECOLÓGICA.**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA.**

ANIA PADILLA ROJAS

CARTAGO, COSTA RICA

NOVIEMBRE 2017

**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**CARACTERIZACIÓN DE SUELO DEL SECTOR PRUSIA,
PARQUE NACIONAL VOLCÁN IRAZÚ, CON MIRA EN LA
REHABILITACIÓN ECOLÓGICA.**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA.**

ANIA PADILLA ROJAS

CARTAGO, COSTA RICA

NOVIEMBRE 2017



Este obra está bajo una [licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

CARACTERIZACIÓN DE SUELO DEL SECTOR PRUSIA, PARQUE NACIONAL VOLCÁN IRAZÚ, CON MIRA EN LA REHABILITACIÓN ECOLÓGICA.

Ania Padilla Rojas *

RESUMEN

El Sector Prusia tiene una reforestación de 52 años aproximadamente, que empieza a mostrar signos que ha llegado al autoraleo, sin que por el momento se tengan claras las técnicas más apropiadas de manejo y los efectos que estas técnicas podrían tener en el suelo. Con el objetivo de caracterizar las propiedades físico-químicas en Prusia se realizaron muestreos de suelos físicos y químicos bajo tres coberturas (Ciprés, Pino, Eucalipto). Las características físicas analizadas presentaron resultados similares entre las distintas especies, por lo que no se encontraron evidencias de que las especies pudieran haber afectado el suelo de una manera diferenciada, con el resultado de este trabajo se podrá evidenciar los efectos que un proceso de restauración puede tener a futuro en el sector, permitiendo así escoger la mejor técnica.

Palabras Clave: Hidrofobicidad, Propiedades físico-químicas, Ciprés, Pino, Eucalipto.

ABSTRACT

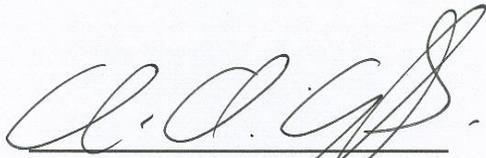
The Prusia Sector has a reforestation of about 52 years, which begins to show signs that it has reached the self-thinning, without being clear, for the moment, about the most appropriate management techniques and the effects that these techniques could have on soil. In order to characterize the physical-chemical properties in Prussia, physical and chemical soils were sampled under three coverings (Cypress, Pine, and Eucalyptus). The physical characteristics analyzed presented similar results among the different species, so no evidence was found that the species could have affected the soil in a differentiated way. With the result of this investigation, it will be possible to demonstrate the effects that a restoration process may have in the future in the sector, thus allowing to choose the best technique.

Keywords: Hydrophobicity, Physical and chemical properties, Cypress, Pine, Eucalyptus.

*Padilla Rojas, A. 2017. Caracterización de Suelo del Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, con mira en la rehabilitación ecológica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica, 27p.

CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

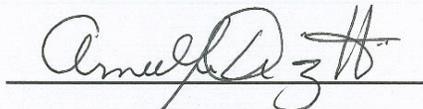
Trabajo final de graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por Ph. D. Edwin Esquivel Segura, M. Sc. Mario Guevara Bonilla y M. Sc. Arnulfo Díaz Hernández, como requisito parcia para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Edwin Esquivel S Ph. D.
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Director de tesis



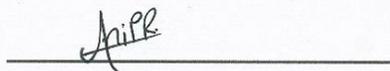
Mario Guevara B M. Sc
Instituto Tecnológico de Costa Rica
Profesor Lector



Arnulfo Díaz Hernández M. Sc.
Área de Conservación Central,
Subregión Cartago, SINAC – MINAE
Lector



Dorian Carvajal Vanegas
Coordinador Trabajos Finales
de Graduación



Ania Padilla Rojas
Estudiante

DEDICATORIA

A Dios que es mi protector y mi sostén, sin Él nada sería posible.

A mis padres por su apoyo incondicional, y su esfuerzo incansable para que esto fuera posible.

A mis hermanos y hermana por su apoyo cada vez que lo necesité.

Y a todas las personas que me extendieron la mano en distintos momentos de la carrera, la lista sería interminable.

A mis amigas incondicionales, Marcela, Jessica y Lucia, cada una diferente, pero sin duda excelentes personas.

“De los momentos difíciles aprendí que debemos ser como el otoño, liberarnos de las cosas que nos roban energía, teniendo en cuenta que cada final es un nuevo comienzo, pues después de un tiempo llega la primavera y todo vuelve a florecer” Ania 2017.

AGRADECIMIENTOS

Primero a Dios por no dejarme caer, y ser mi refugio cada vez que lo necesité.

A mis padres porque cada uno y de diferente forma han sido mi apoyo e inspiración, este triunfo se los debo a ellos.

A mi hermana porque siempre estuvo conmigo día a día, aunque no está cerca de mí siempre tuvo un mensaje de aliento.

A Edwin Esquivel, mi profesor tutor, por tanta paciencia y apoyo incondicional.

A mi amiga Vicky mi mamá de Cartago que siempre me ha guiado por el buen camino de vida saludable y del amor a Dios, Él pone Ángeles en nuestro camino.

A Victoria Piedra mi psicóloga, siempre tuvo una palabra de aliento en los momentos más difíciles de la carrera, una de las mejores personas que he llegado a conocer y le agradezco a Dios por haberla puesto en mi camino.

A cada persona que se cruzó en mi camino que sirvió de aprendizaje o de lección, sin duda alguna sale una mujer muy diferente a la que entró no solo soy profesional sino también una mejor persona.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	vii
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	3
Área de estudio	3
Caracterización De La Vegetación.....	4
Propiedades Físicas	5
Propiedades Químicas	6
Hidrofobicidad.....	6
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	7
Caracterización De La Vegetación.....	8
Propiedades Físicas	8
Propiedades Químicas.....	12
Hidrofobicidad	14
CONCLUSIONES	16
RECOMENDACIONES	16
REFERENCIAS	17
ANEXOS	19

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación de suelos hidrofóbicos según tiempo de humectación (Dekker et al., 2009).....	7
Cuadro 2 : Propiedades Físicas bajo tres coberturas arbóreas obtenidas de las calicatas, del sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú.	9
Cuadro 3: Densidad aparente y textura, bajo tres especies arbóreas, en el Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.	11
Cuadro 4: Análisis químico bajo tres coberturas, a dos profundidades, en suelos del Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.....	12

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de unidades de muestreo y puntos de muestreo en plantaciones de Pino, Ciprés y Eucalipto, en el Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago, Costa Rica.....	4
Figura 2: Análisis de hidrofobicidad en suelos bajo tres especies del sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.	7
Figura 3: Incidencia de suelos hidrofóbicos bajo tres coberturas arbóreas en el Sector de Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.....	15

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Ubicación de las parcelas de muestreo y parcelas testigo, en las que se aplicaran técnicas de rehabilitación ecológica, Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.	19
Anexo 2: Barreno uno ubicado en el sitio de ciprés donde se encuentra la parcela de muestreo (C1), Sector Prusia, Cartago.	19
Anexo 3: Barreno uno ubicado en el sitio de Eucalipto donde se encuentra la parcela de muestreo (E1), Sector Prusia, Cartago.	20
Anexo 4: Barreno uno ubicado en el sitio de Pino donde se encuentra la parcela de muestreo (P1), Sector Prusia, Cartago.	20
Anexo 5: Perfil 2 en sitio de Ciprés (C1), Sector Prusia, Cartago.	21

INTRODUCCIÓN

El sector de Prusia pertenece al Parque Nacional Volcán Irazú desde 1997 mediante el Decreto Ejecutivo N° 26945-MINAE (Varela, 2013), por su cercanía tiene incidencia de las cenizas volcánicas en los tipos de suelos presentes en el sector, en la región se presentan diferentes órdenes de suelo como Inceptisoles (6,9%); y Entisoles (0,6%); sin embargo, los Andisoles (92,5%) son los más predominantes (Ramírez, Alvarado, Mesalles, & Brenes, 2008).

Los Andisoles son suelos formados por cenizas y vidrios volcánicos y otros materiales piroclásticos, se caracterizan por tener un horizonte A espeso y horizontes B con abundantes alófanos (Castro, 2003). Los suelos Andisoles presentan baja densidad aparente esto debido al origen del material parental (Alvarado & Forsythe, 2005). Este tipo de suelo proporciona condiciones idóneas que junto con otras características como precipitación y temperatura, potenciando una composición florística exuberante en el lugar.

En 1963 el Volcán Irazú presentó el último evento eruptivo en el cual lanzó ceniza por un periodo de 2 años (Fernández, Mora, & Barquero, 1998), este evento eruptivo provocó deslizamientos, y con estos la pérdida de vegetación nativa del lugar, posterior a ellas, se da la introducción de especies, con el objetivo de acelerar la recuperación de la vegetación de estos sitios, sin que se manejaran adecuadamente estas plantaciones, lo que provoca la muerte de árboles de forma descontrolada.

No obstante, recientemente se ha desarrollado un proyecto de investigación en conjunto entre el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (Sinac) y el Tecnológico de Costa Rica (Tec), denominado “Plan Piloto de Rehabilitación Ecológica del Sector Prusia del Parque Nacional Volcán Irazú”, este con la finalidad de encontrar la mejor alternativa técnica para recuperar los bosques originales (Sandoz, 2016), y así

recuperar tanto la vegetación, como los servicios que esta brinda, esto se pretende lograr mediante técnicas de rehabilitación ecológica.

La rehabilitación ecológica está dirigida a tratar de recuperar las principales funciones ambientales del ecosistema original, que permita mantener estabilidad en la fertilidad, y la conservación de suelo (Yanes, Muñoz, Alcocer, Silva, & Dirzo, 2001); aunque parte de la diversidad se haya perdido, y actualmente hay presencia de algunas especies extrañas que han ingresado ya sea por si solas o introducidas por el ser humano. En condiciones de pérdida extrema de suelo se requieren programas de rehabilitación ecológica para optimar el establecimiento de cobertura vegetal y protección de suelos (Gómez-Romero et al., 2012). Para llevar a cabo este proceso es necesario hacer estudios previos, para tener una descripción tanto de las propiedades físicas como de las químicas del suelo presente en el sitio, y de esta manera poder tomar las decisiones adecuadas para tener resultados positivos en el menor tiempo posible.

Por muchos años se ha tenido la errada idea que los eucaliptos son bombas consumidoras de agua, sin embargo, Villegas (2004) explica que es todo lo contrario pues estos árboles lo que hacen es influir en la cantidad de agua que se infiltra y la que se va por escorrentía, y sus diferencias con los bosque naturales, que a su vez por sus condiciones de materia orgánica propician más el agua que se va por escorrentía y va a dar las cuencas.

Los árboles pueden ser formadores de suelo, o a su vez una especie arbórea puede modificar las características del medio edáfico en el que se encuentre, en un periodo de tiempo. (Alvarado & Raigosa, 2012). Además, el tipo de materia orgánica (MO) que estos aporten, puede interferir en los procesos que se lleven a cabo en las primeras capas del suelo, y propiciar condiciones especiales, como es el caso de los suelos hidrofóbicos.

Los suelos hidrofóbicos, son suelos que presentan una repelencia al agua, existe una relación positiva en el contenido de MO y la repelencia (Cuevas Becerra, 2006), la condición antes mencionada, más la influencia de las temperatura, pues esta va a influir en la tensión superficial del suelos según los menciona (Stephens, 1995), y no

perturbación son las condiciones idóneas para que se de la hidrofobicidad. Puede que un suelo no presente repelencia en condiciones de campo que es la repelencia real, pero que si presente repelencia después de ser llevado al laboratorio y ser secado al aire o en horno, que es la repelencia potencial (Zapata, Mesa, Jaramillo, & Peláez, 2004).

El objetivo fue realizar una caracterización de las propiedades físicas y químicas, en el Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, bajo tres coberturas de especies arbóreas, en búsqueda del efecto que estas especies podría haber tenido en estas propiedades después de 52 años de reforestado el sitio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en las plantaciones de tres especies, Pino (*Pinus radiata*), Eucalipto (*Eucalyptus globulus*) y Ciprés (*Cupressus lusitanica*) que tienen una edad aproximada de 52 años en el sector Prusia, que pertenece al Parque Nacional Volcán Irazú, localizado al sureste del mismo, en las coordenadas 9°58'08 latitud norte, 83°50'21 longitud oeste, se encuentra a una altitud de 2700 msnm, la precipitación media anual es de 1.528 mm, la temperatura media anual varía entre 5 y 9 °C, la temperatura máxima promedio es de 17 °C y mínima es de -3 °C (Rodríguez, Conejo Aguilar, Gutiérrez, & Bermúdez, 2013).

Los sitios muestreados, son plantaciones en las que se establecieron parcelas para posteriormente estudiar técnicas de rehabilitación ecológica, son tres parcelas, una en cada una de las coberturas planteadas, cada cobertura tiene una parcela testigo, y

además, por cuestión de tiempo se tomaron muestras de cuatro sitios adicionales.

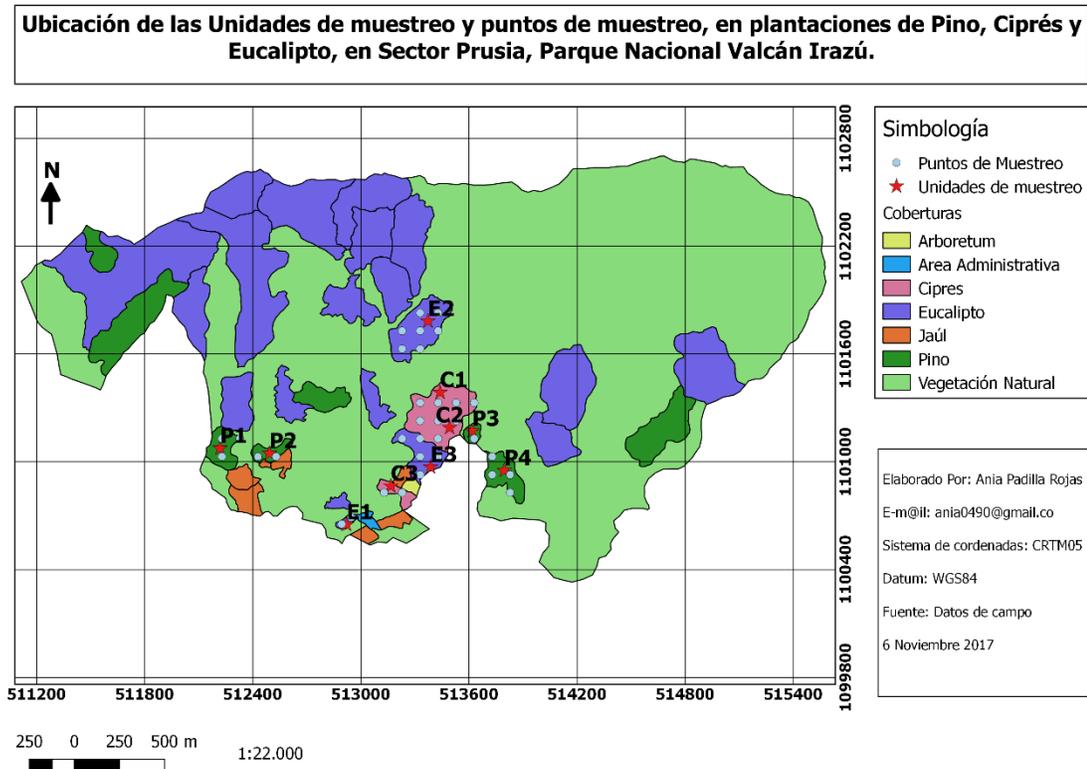


Figura 1: Ubicación de unidades de muestreo y puntos de muestreo en plantaciones de Pino, Ciprés y Eucalipto, en el Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago, Costa Rica.

Caracterización De La Vegetación

Cada vez que se realizaron los barrenos y las calicatas se montó una parcela de área variable, con una placa de área basal Forestry Suppliers, Inc (59795), que consiste en contar la cantidad de árboles y se multiplica por un factor para convertir a las unidades del Sistema Internacional, como el factor usado fue 20 se multiplicó por 4.59 para obtener $m^2 ha^{-1}$, para relacionar el tipo de suelo con el área basal de las plantaciones.

Propiedades Físicas

Se realizó un muestreo sistemático con arranque aleatorio, mediante el uso de una maya de puntos ubicados sistemáticamente en el Programa de Quantum Gis, los puntos fueron cargados al GPS, los cuales fueron ubicados en campo para realizar los barrenos con un distanciamiento de 100 m entre puntos, todo esto con el fin de evidenciar similitudes en los sitios y poder ubicar las calicatas para observar el perfil modal en cada suelo diferente encontrado.

En los lugares que presentaron similitudes con el muestreo por medio de barrenos se realizó una calicata por bloque, en todas ellas se tomaron las muestras para la caracterización de las propiedades físicas.

La estructura fue determinada en campo, para esta se tomó una porción de suelo y se observó de qué manera se agrupaban los agregados comparándola con la clasificación que hace Arias (2012) en el libro Suelos Tropicales.

El color fue clasificado con el sistema de notación Munsell, para cada uno de los horizontes de cada una de las calicatas, en seco y en húmedo (Domínguez Soto, Gutiérrez, Delia, Prieto García, & Acevedo Sandoval, 2012).

La determinación de la textura se realizó mediante el método de Bouyoucos (1962) que consiste en la medición de partículas en suspensión en un medio líquido, mediante el uso de un hidrómetro, se pesaron 40 g de suelo seco al aire, sin grava ni materia orgánica, se colocó en un frasco, se le agregó 40 ml de agua destilada, 20 ml de Peróxido de Hidrógeno, se dejó reposar toda la noche y se le agrega 50 ml de Hexametáfosfato de Sodio, se dejó reposar toda la noche, posteriormente se dispersaron las partículas en una licuadora durante 3 minutos, luego se transfirió a una pipeta donde se agregó agua destilada hasta completar 1 L, Se realizaron mediciones de temperatura con un termómetro ($\pm 0,1$) y la densidad con un hidrómetro ($\pm 0,1$) a los 40 s y los 120 min (Norambuena, Luzio, & Vera, 2002) .

Para la determinación de la densidad aparente se hizo uso del barreno específico para este fin, tomando muestras de 0-20 y de 20-40 cm, tres repeticiones por cada bloque, con un cilindro de 100 cm³, para obtener la densidad aparente el suelo fue secado al menos por 24 h a 105°C posteriormente pesado, y con el volumen conocido del cilindro se determinó la densidad aparente a partir de la siguiente fórmula.

$$Da = \frac{\text{Peso seco Suelo}_{105^{\circ}\text{C } 24\text{horas}}}{\text{Volumen del suelo (m}^3\text{)}}$$

Propiedades Químicas

Se tomaron muestras compuestas por 20 sub muestras de cada bloque a dos profundidades de 0-20 y de 20-40 cm, el suelo se secó al aire libre, posteriormente fue tamizado (2mm) donde se separó, se pesó la materia orgánica, a grava y suelo, en una balanza ($\pm 0,1$). Las muestras listas fueron enviadas al laboratorio de la Escuela de Agronomía del TEC en San Carlos para realizar el análisis químico completo.

Hidrofobicidad

En cada bloque se colectaron tres muestras, se quitó la capa de materia orgánica y se obtuvo el suelo en los primeros 5 cm, posteriormente fue extendido en el laboratorio y secado al aire, cada muestra se colocó en una plato Petri y se le colocó tres gotas de agua con una jeringa, se anotó el tiempo en el que desapareció la gota y se clasificó con la siguiente tabla implementada por Dekker, Ritsema, Oostindie, and Moore (2009).

Cuadro 1: Clasificación de suelos hidrofóbicos según tiempo de humectación (Dekker et al., 2009).

Tiempo	Clasificación
<5s	Humectable
5-60s	Ligeramente repelente al agua
1-10 min	Fuertemente repelente al agua
10 min-1h	Severamente repelente al agua
1-3h	Extremadamente repelente al agua
3- 6h	Extremadamente repelente al agua

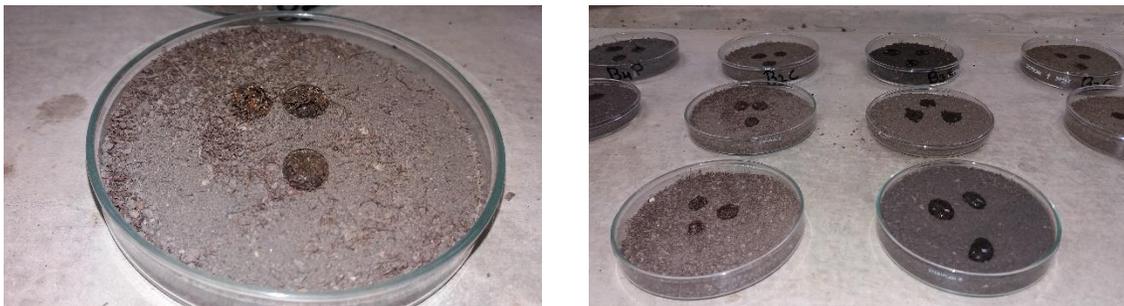


Figura 2: Análisis de hidrofobicidad en suelos bajo tres especies del sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los suelos del Sector Prusia han sido influenciados por el aporte de las cenizas volcánicas, dada la cercanía del área de estudio con el cráter del Volcán Irazú. Según estudios previos el 92,5% de los suelos de los sectores cercanos al Volcán son suelos Andisoles (Ramírez et al., 2008).

Las cenizas volcánicas está compuesta de minerales fragmentados, donde predominan los vidrios volcánicos, los cuales presentan poca resistencia al intercambio químico, esta característica de las cenizas volcánicas está ligada con la formación de suelos Andisoles en diferentes condiciones climáticas (Campos , Oleschko, Cruz Huerta, Etchevers, & Hidalgo, 2001).

Caracterización De La Vegetación

Observaciones generales de los lugares visitados, las plantaciones de pino y ciprés presentan sotobosque en algunos sectores, en su gran mayoría bajo estas plantaciones no hay más que regeneración de ellas misma, principalmente en las plantaciones de ciprés, pero en el caso del eucalipto, bajo los tres sitios visitados hay gran cantidad de individuos de otras especies, regeneración natural del lugar. Es como si el sitio se estuviera encargando de regenerarse por sí mismo. En el caso del sitio 3 de eucalipto se observa una condición muy particular, y es que hay gran cantidad de los árboles en el suelo, tanto, que en ocasiones es imposible desplazarse de un lugar a otro.

Por otra parte en cuanto al área basal en valores promedios calculados de las parcelas de área variable montadas en cada uno de los barrernos, se obtuvo en el pino $81 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, ciprés $71 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y en el eucalipto $56 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, al ser valores tan altos se puede evidenciar la gran necesidad de manejo de estos sitios estos valores coinciden con los valores de área basal observados por Jiménez (2016) , además, es muy notable como hay individuos muertos a lo largo de las plantaciones, en algunas con mayor incidencia, lo que explica que se está llegando a ocupación máxima, y por si solos se autor ralean. Por otra parte está el rango o intervalo de confianza para las tres especies que varía significativamente, para el ciprés $\pm 13,5$ para el eucalipto $\pm 10,8$ y para el pino $\pm 8,9$ lo que significa que estas plantaciones no han sido manejadas adecuadamente, esto hace que los árboles mueran descontroladamente, por lo tanto dejan de cumplir con sus funciones lo que provoca un aumento en la erosión del suelo.

Propiedades Físicas

A continuación se muestran las propiedades físicas obtenidas, mediante la realización de las calicatas, para cada uno de los horizontes encontrados. Además, el área basal medida en cada uno de los sitios. Es notable que en los sitios donde hay mayor porcentaje de arcillas, hay mayor área basal, esto se debe a que hay mayor intercambio catiónico y más disponibilidad de nutriente

Cuadro 2 : Propiedades Físicas bajo tres coberturas arbóreas obtenidas de las calicatas, del sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú.

Muestra	Horizonte	Profundidad (cm)	Color seco	Color húmedo	Textura	Estructura	Observaciones
Ciprés 1	O	12				Sin	
	A1	38	Café grisáceo oscuro	Negro	Franco arenosa	Sin	Poco sotobosque, Área basal 78,06 m ² /ha
	C1	38-85	Amarillo	Amarillo	Franco arenosa franco arcillo arenosa	Sin	
	C2	85-117	Blanco	Blanco oscuro		Sin	
	A2	117-127	Café	Café grisáceo muy oscuro	Franco arenosa	Sin	
O	2				Sin		
Eucalipto 1	A1	0-20	Café grisáceo oscuro	Negro	Franco arenosa	Migajosa	Poco sotobosque, Área basal 45,92 m ² /ha
	A2	20-43	Café grisáceo oscuro	Gris muy oscuro	Franco arenosa	Migajosa	
	A3	43-120		Negro	Areno franco	Migajosa	
	O	25				Sin	
Pino 1	A1	0-25	Café	Gris muy oscuro	Franco arenosa	Migajosa	Sin sotobosque, Área basal 64,28 m ² /ha
	A2	25-52	Café	Gris muy oscuro	Areno franco	Migajosa	
	A3	52-120	Café grisáceo oscuro	Negro	Areno franco	Migajosa	
Ciprés 2	O	10				Sin	
	A1	0-20	Café	Café muy oscuro	Franco arenosa	Sin	Sotobosque denso, Área basal 55,10 m ² /ha
	A2	20-36	Café grisáceo muy oscuro	Negro	Franco arenosa	Sin	
	A3	36-45	Gris oscuro	Negro	Franco arenosa	Sin	
	A4	45-59	Café grisáceo muy oscuro	Café muy oscuro	Franco arenosa	Sin	
C	59-120	Marrón	Café amarillento	Arcillosa	Sin		
Eucalipto 2	O	9				Sin	
	A1	38	Café grisáceo muy oscuro	Negro	Franco arcillo arenosa	Incipiente	Sotobosque, Área basal 78,06 m ² /ha
	A2	38-56	Café oscuro	Negro	Franco arenosa	Migajosa	
	A3	56-63	Café grisáceo oscuro	Café muy oscuro	Franco arenosa	Migajosa	
	A4	63-80	Café	Café muy oscuro	Franco arenosa	Migajosa	
A5	80-120	Café grisáceo oscuro	Café muy oscuro	Franco arenosa	Migajosa		
Pino 2	O	25				Sin	
	A1	0-25	Café grisáceo oscuro	Negro	Franco arenosa	Migajosa	Sotobosque, Área basal 68,88 m ² /ha
	A2	25-52	Café	Gris muy oscuro	Areno franco	Migajosa	
	A3	52-120	Café	Gris muy oscuro	Areno franco	Migajosa	
O	6				Sin		
Ciprés 3	A1	0-24	Café grisáceo oscuro	Negro	Franco arenosa	Migajosa	Sotobosque muy denso, Área basal 82,65 m ² /ha
	A2	24-69	Café	Gris muy oscuro	Franco arenosa	Migajosa	
	A3	69-120	Café grisáceo oscuro	Negro	Franco arenosa	Migajosa	

Se observa una predominancia de suelos oscuros, lo que significa que tiene valores bajos en value y Chroma estos me define la fracción numérica , por último se toma el valor Hue en este caso para todos fue 10YR, que es el color espectral dominante (Jaramillo, 2002), es importante destacar que en gran mayoría este color oscuro es debido a la influencias de cenizas volcánicas en el lugar, suelos con incidencias de alófanos presentan colores muy negros (Campos et al., 2001).

En cuanto a la textura varían principalmente por el porcentaje de arenas presentes, esto se puede deber a la distancia en la que se encuentren los bloques del cráter, por lo tanto entre más cerca estén se espera que hayan caído partículas de mayor tamaño, y entre más alejados los bloques, partículas que se dispersan con mayor facilidad con el viento. Según Jaramillo (2002) el separador dominante es el que encabeza el nombre, así mismo se puede notar que predominan las texturas donde el separador dominante es el franco, en segundo lugar el separador Areno y muy poco frecuente el arcillo. El suelo posee tres fases que son sólida, gaseosa y líquida, la fase sólida está compuesta por el material parental y las partículas de arena, limo y arcilla, la fase líquida por el agua presente en el suelo y la gaseosa por la aireación. Las partículas que forman la textura del suelo varían de 0,0001 hasta 2 mm, siendo las arcillas las más pequeñas y las arenas las más grandes (Arias, 2012) .Por lo tanto entre mayor cantidad de arena el suelo tiene poros más grandes y retiene menor cantidad de agua.

En cuanto a la estructura hay dominancia de estructura migajosa, la mayoría de los bloques presentaban un agrupamiento de partículas en agregados de poco tamaño, en dos bloques de ciprés las partículas no se agrupaban, estos bloques presentan una condición diferenciada con respecto a los demás bloques, mayor cantidad de horizontes, diferentes colores, menor profundidad efectiva por presencia de material pedregoso, sin embargo, el área basal es representativa y muy similar a los demás bloques.

Cuadro 3: Densidad aparente y textura, bajo tres especies arbóreas, en el Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.

Unidad	Profundidad (cm)	Da (g/m ³)	Textura
Ciprés 1	0-20	1,33	Franco arcillo arenosa
	20-40	1,23	Franco arcillo arenosa
Eucalipto 1	0-20	1,22	Franco arcillo arenosa
	20-40	1,07	Franco arcillo arenosa
Pino 1	0-20	1,24	Arcillo arenosa
	20-40	1,17	Franco arcillo arenosa
Ciprés 2	0-20	1,30	Franco arcillo arenosa
	20-40	1,19	Franco arcillo arenosa
Eucalipto 2	0-20	1,51	Franco arenosa
	20-40	1,51	Franco arenosa
Pino 2	0-20	1,17	Franco arenosa
	20-40	1,13	Franco arenosa
Ciprés 3	0-20	1,09	Franco arcillo arenosa
	20-40	1,13	Franco arenosa
Eucalipto 3	0-20	1,23	Franco arenosa
	20-40	1,36	Franco arenosa
Pino 3	0-20	1,13	Franco arenosa
	20-40	1,26	Franco arenosa
Pino 4	0-20	1,29	Franco arenosa
	20-40	1,23	Franco arenosa

La densidad aparente obtenida en los bloques varía entre 1,07 y 1,36 g cm⁻³, como se puede notar varias combinaciones entre franco, arcilla y arena, según lo menciona Arias (2012) la densidad aparente para suelo orgánico es 0,1 g/cm³, para arcilla 1,10 g cm⁻³, franco 1,40 g cm⁻³, arena 1,80 g cm⁻³, suelo compacto 2,00 g/cm³, además, entre mayor densidad aparente menor es el espacio poroso y mayor el sólido del suelo. En suelos Andisoles la densidad aparente suele aumentar con los incrementos de arena (Alvarado & Forsythe, 2005), además, afirman que la densidad aparente para suelos Andisoles varía entre 0,14-2.00 g cm⁻³, se puede observar que aunque no se llega a la densidad aparente máxima para este tipo de suelos, anda lejos de la mínima lo que significa que es suelo con poco espacio poroso lo que influye significativamente en la infiltración del agua.

Propiedades Químicas

En el cuadro 4 se muestran los resultados obtenidos del análisis químico, de los 10 sitios muestreados, a dos profundidades, bajo las tres especies

Cuadro 4: Análisis químico bajo tres coberturas, a dos profundidades, en suelos del Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.

Sitio	Profundidad	pH	cmol(+)/L				mg/L				
			Acidez ext.	Ca	Mg	K	Cu	Mn	Fe	Zn	P
Ciprés 1	0-20	5,4	0,85	2,61	1,43	0,32	23	6	254	2,74	64,61
Ciprés 2	0-20	5,2	0,36	2,65	0,63	0,23	13	4	139	2,58	27,94
Ciprés 3	0-20	5,6	0,22	4,15	0,77	0,21	16	4	149	3,53	33,7
Promedio	0-20	5,4	0,5	3,1	0,9	0,3	17,3	4,7	180,7	3	42,1
Ciprés 1	20-40	4,8	1,75	1,77	1,49	0,25	28	7	244	2,67	40,39
Ciprés 2	20-40	5,1	1,04	1,67	0,92	0,2	18	4	161	2,58	26,09
Ciprés 3	20-40	5,1	0,4	2,9	0,63	0,19	19	4	188	3,28	24,02
Promedio	20-40	5	1,1	2,1	1	0,2	21,7	5	197,7	2,8	30,2
Pino 1	0-20	5,3	0,38	2,17	0,68	0,15	16	5	109	2,7	20,1
Pino 2	0-20	5,3	0,32	2,97	0,83	0,13	16	5	134	3,05	28,17
Pino 3	0-20	5	0,39	2,98	1,31	0,2	16	5	248	4,88	47,31
Pino 4	0-20	5,2	0,35	2,41	1,03	0,16	15	5	173	3,51	46,85
Promedio	0-20	5,2	0,4	2,6	1	0,2	15,8	5	166	3,5	35,6
Pino 1	20-40	5,2	0,44	1,45	0,56	0,13	21	4	114	2,22	10,18
Pino 2	20-40	5,1	0,5	1,89	0,6	0,12	15	4	146	3,04	17,1
Pino 3	20-40	5	0,49	2,14	0,9	0,17	16	5	216	3,28	21,71
Pino 4	20-40	5,1	0,44	1,61	0,8	0,17	18	5	167	3,35	33,24
Promedio	20-40	5,1	0,5	1,8	0,7	0,1	17,5	4,5	160,8	3	20,6
Eucalipto 1	0-20	4,5	0,23	5,76	1,31	0,23	8	4	190	5,84	38,05
Eucalipto 2	0-20	4,6	0,21	3,43	0,88	0,21	9	4	135	3,16	25,86
Eucalipto 3	0-20	5,4	0,28	3,16	1,03	0,22	14	5	173	3,43	19,86
Promedio	0-20	4,8	0,2	4,1	1,1	0,2	10,3	4,3	166	4,1	27,9
Eucalipto 1	20-40	5,6	0,41	2,99	0,83	0,23	22	4	288	4,68	32,32
Eucalipto 2	20-40	5,4	0,25	2,73	0,77	0,24	23	4	237	2,59	17,1
Eucalipto 3	20-40	5,4	0,54	1,84	0,7	0,2	21	5	171	3,21	16,87
Promedio	20-40	5,5	0,4	2,5	0,8	0,2	22	4,3	232	3,5	22,1
Rangos	Mínimos	4,5	0,2	1,5	0,6	0,1	8	4	109	2,2	10,2
	Máximos	5,6	1,8	5,8	1,5	0,3	28	7	288	5,8	64,6
Referencia	Mínimos	5,5		4	1	0,2	1	5	5	3	10
	Máximos	7	<0,5	15	6	0,8	20	50	50	10	40

Para las tres especies es notable que en cuanto a los macronutrientes, hay deficiencias, en los diferentes sitios muestreados los valores están por debajo o cercanos al mínimo, no hay diferencias muy marcadas. En cuanto a los micronutrientes el comportamiento es diferente estos tienen valores intermedios en el rango, en su mayoría llegan al mínimo, solo en caso del Mn y Zn hay valores muy cercanos al mínimo, el Eucalipto presenta deficiencias de Mn en ambas profundidades, El ciprés presenta deficiencias de Zn en ambas profundidades y el Pino de 20-40 cm. Se podría pensar que los sitios no fueron seleccionados por sus características químicas, ni que éstas han sido cambiadas por la especie con el paso de los años, pues entre especies estas características no varían significativamente, no hay estudios previos con lo que se pueda comparar esta suposición.

El pH varía entre 4,5 y 6,0 lo que significa que son suelos ácidos según la escala de pH. La acidez del suelo puede tener influencia marcada sobre la desnitrificación, porque muchas de las bacterias que participan en este proceso son sensibles a valores bajos de pH (Kass, 1996).

Los sitios muestreados presentan una deficiencia de calcio, el valor mínimo es 4 y el máximo 15 cmol L^{-1} , y solo uno de los 10 sitios llega a 4 los otros 9 varían entre 1,2 y 3,0. El calcio es absorbido por las plantas como ión calcio (Ca^{+2}), entre sus funciones la principal es que estimula el crecimiento del sistema radical (Kass, 1996).

En cuanto al magnesio todos los sitios contienen el valor mínimo que es 1 cmol L^{-1} , y el potasio de igual forma todos los sitios presentan valores muy cercanos al mínimo que es $0,20 \text{ cmol L}^{-1}$. Es importante recordar que el magnesio es el único mineral que forma parte de la molécula de clorofila y el potasio actúa como activador enzimático (Kass, 1996).

Los otros elementos analizados manganeso, cinc, fósforo y cobre presentan valores que se encuentran dentro del rango o muy cercanos a él, pero en el caso del hierro

presenta valores muy elevados respecto al valor máximo que es $50 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ presenta valores que van desde más de 100 hasta $288 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

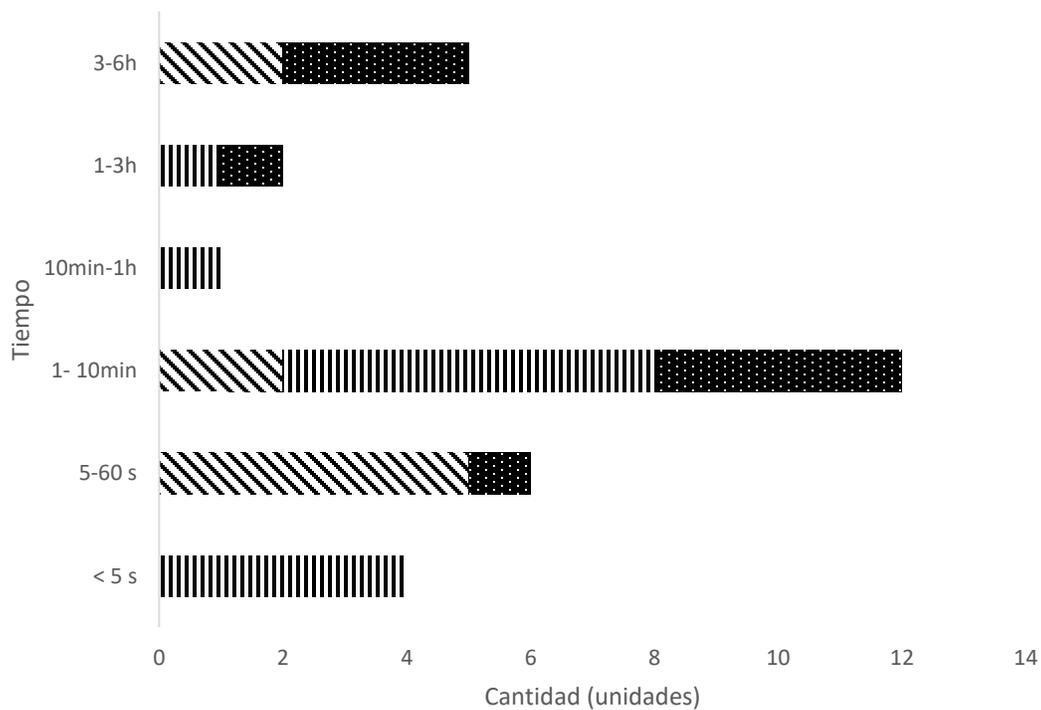
La ley del “mínimo” de Liebig establece que el crecimiento va a estar limitado por el nutriente que se encuentre en mayor o menor proporción en términos de necesidad y disponibilidad es un factor limitante (Machado, Suset, Martín, & Funes-Monzote, 2009)

En estos sitios los nutrientes limitantes son el calcio como factor deficiente y el hierro como una sobresaturación, Es importante destacar que estos factores no han sido limitantes para las plantaciones actuales, pero se debe tomar en cuenta si son factores limitantes para las futuras especies que se quieran introducir.

Según Juárez, Cerdán, y Sánchez (2008) la toxicidad de Fe es difícil que se dé en condiciones aeróbicas, es decir, que se produzca acumulación de Fe (II) en el suelo, pero en condiciones anaeróbicas, el Fe (III) se reducirá a Fe (II) volviéndose más abundante e incrementando la solubilidad de Fe en el suelo.

Hidrofobicidad

Se obtuvo como resultado que todos los bloques muestreados presentan suelos hidrofóbicos, algunos con mayor severidad, por ejemplo los que aun después de 6 h seguían las gotas de agua en la superficie se observó que 20 h más tarde aún seguían ahí, para cada bloque se tenían tres repeticiones y se puede observar en todos los casos al menos alguna de ellas presenta fuertemente repelencia al agua, y 6 de los bloques presentan extremadamente repelencia al agua.



 Ciprés
 Pino
 Eucalipto

- <5s Humectable
- 5-60s Ligeramente repelente al agua
- 1-10 min Fuertemente repelente al agua
- 10 min-1h Severamente repelente al agua
- 1-3h Extremadamente repelente al agua
- 3- 6h Extremadamente repelente al agua

Figura 3: Incidencia de suelos hidrofóbicos bajo tres coberturas arbóreas en el Sector de Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.

Cuevas Becerra (2006) menciona que el contenido de materia orgánica condiciona de manera importante la intensidad de la repelencia, es importante observar que aunque se esperaba que la hidrofobicidad fuera en mayor intensidad en los suelos cubiertos de pino y ciprés por los agregados de acículas, los bloques en los que tardó más el suelo en humectarse fue en los bloques de eucalipto, que aunque en sectores habían

agregados de ramas, las hojas de esta especie se deterioran con mayor facilidad que las otras dos especies.

La presencia de este tipo de suelos implica que mucha del agua que cae (lluvia) se irá por escorrentía, por lo tanto aumentar los grados de erosión en los sitios. Se han hecho estudios pero aún no se conoce a ciencia cierta, la influencia que tienen las plantaciones o la vegetación natural en la humedad del suelo (Villegas, 2004).

CONCLUSIONES

Los sitios muestreados presentan una elevada área basal y rango de variación bastante disperso, a su vez también muchos individuos muertos, lo que implica que los sitios están llegando a su capacidad máxima de sitio y está aplicándose el autor raleo.

Las propiedades analizadas, coinciden con las propiedades esperadas para suelos Andisoles, lo que confirma que esta es la clasificación de suelos del lugar.

Los análisis químicos indican que los suelos muestreados presentan una deficiencia de calcio y un elevado nivel de hierro.

Todos los sitios muestreados presentan algún grado de hidrofobicidad, en algunos de los casos al menos una de las tres repeticiones mostró que son suelos con alto grado de hidrofobicidad.

RECOMENDACIONES

Disminuir el área basal, al menos en los lugares de valores más altos, para favorecer el sotobosque presente actualmente, y observar poco a poco que especies serían las que logran sobrevivir a esas condiciones de claros paulatinos.

Realizar un estudio hídrico, tanto dentro del Sector Prusia como en los sectores más cercanos, y tomar en cuenta los riesgos que se corren al cambiar la cobertura, pues

esto puede implicar que aumente la escorrentía y se tenga menos recurso hídrico en los mantos acuíferos subterráneos.

Remover la capa superficial antes de plantar especies, para eliminar la capa hidrofóbica y de esta forma favorecer el establecimiento de las especies.

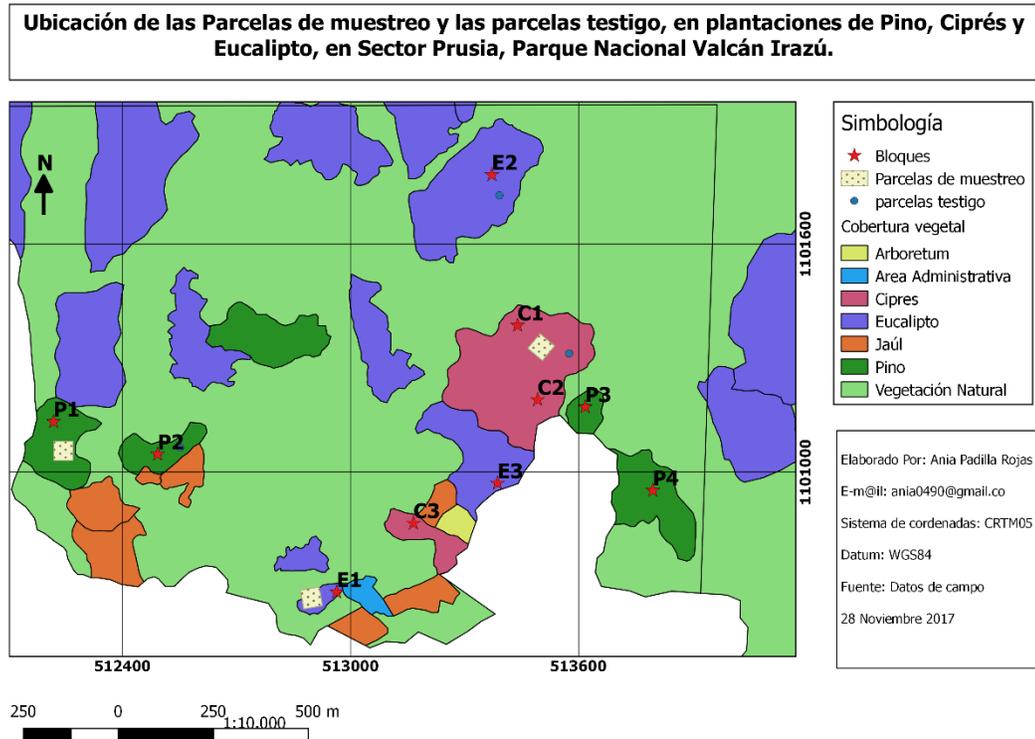
.

REFERENCIAS

- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94.
- Alvarado, A., & Raigosa, j. (2012). Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales *Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, San José, Costa Rica*, 1, 47.
- Arias, A. C. (2012). Suelos Tropicales *Editorial Universal Estatal a Distancia, San José, Costa Rica*, 1.
- Bouyoucos, G. J. (1962). Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy journal*, 54(5), 464-465.
- Campos, A., Oleschko, K., Cruz Huerta, L., Etchevers, J. D., & Hidalgo, C. (2001). Estimación de alófono y su relación con otros parámetros químicos en Andisoles de montaña del volcán Cofre de Perote. *Terra Latinoamericana*, 19(2).
- Castro, D. M. (2003). Ensayo sobre tipología de suelos colombianos-Énfasis en génesis y aspectos ambientales. *Rev. Acad. Colomb. Cienc*, 27(104), 319-341.
- Cuevas Becerra, J. (2006). Efecto de la materia orgánica y el manejo sobre la hidrofobicidad de suelos volcánicos. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 6(2), 13-27.
- Dekker, L., Ritsema, C., Oostindie, K., & Moore, D. (2009). Methods for determining soil water repellency on field-moist samples. *Water Resources Research*, 45.
- Domínguez Soto, J. M., Gutiérrez, R., Delia, A., Prieto García, F., & Acevedo Sandoval, O. (2012). Sistema de notación Munsell y CIELab como herramienta para evaluación de color en suelos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(1), 141-155.
- Fernández, M., Mora, M., & Barquero, R. (1998). Los procesos sísmicos en el volcán Irazú (Costa Rica). *Revista Geológica de América Central*, 21, 47-59.
- Gómez-Romero, M., Soto-Correa, J. C., Blanco-García, J. A., Sáenz-Romero, C., Villegas, J., & Lindig-Cisneros, R. (2012). Estudio de especies de pino para restauración de sitios degradados. *Agrociencia*, 46(8), 795-807.
- Jaramillo, D. F. (2002). Introducción a la ciencia del suelo.
- Jiménez, A. (2016). Planificación de inventario general de las especies introducidas en el Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago. *Instituto Tecnológico de Costa Rica.*, 56.

- Juárez, M., Cerdán, M., & Sánchez, A. (2008). Hierro en el sistema suelo-planta. *Depto. Agroquímica y Bioquímica. Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante*, 1-22.
- Kass, D. (1996). Fertilidad de Suelos *EUNED, San José, Costa Rica*, 1, 272.
- Loaiza, J. (2011). El recurso suelo. *Suelos ecuatoriales*, 41, 6-18.
- Machado, H., Suset, A., Martín, G., & Funes-Monzote, F. (2009). Del enfoque reduccionista al enfoque de sistema en la agricultura cubana: un necesario cambio de visión. *Pastos y Forrajes*, 32(3), 1-1.
- Norambuena, V., Luzio, L., & Vera, W. (2002). Comparación entre los métodos de la pipeta y Bouyoucos y su relación con la retención de agua en ocho suelos de la zona altiplánica de la provincia de Parí, Chile. *Agricultura Técnica*, 62(1), 150-157.
- Ramírez, L., Alvarado, A., Mesalles, R. P., & Brenes, L. G. (2008). Caracterización física de la cuenca medio del río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 32(2), 73-92.
- Rodríguez, M., Conejo Aguilar, R., Gutiérrez, R., & Bermúdez, F. (2013). Plan General de Manejo Parque Nacional Volcán Irazú.
- Sandoz, M. A. M. (2016). El uso de especies vegetales exóticas como una estrategia de restauración ecológica. *Biocenosis*, 23(2).
- Stephens, D. B. (1995). *Vadose zone hydrology*. CRC press.
- Varela, A. (2013). Generalidades del parque nacional volcán Irazú. *Revista Geológica de América Central*(48).
- Villegas, J. C. (2004). Análisis del conocimiento en la relación agua-suelo-vegetación para el Departamento de Antioquía. *Revista EIA*(1), 73-79.
- Yanes, C. V., Muñoz, A. I. B., Alcocer, M. I., Silva, M. G. D. Y. C., & Dirzo, S. (2001). Árboles y arbustos nativos potencialmente valiosos para la restauración ecológica y la reforestación: Instituto de Ecología, UNAM, México.
- Zapata, J. R. D., Mesa, S. P. A., Jaramillo, D. F. J., & Peláez, J. D. L. (2004). Hidrofobicidad en andisoles bajo robledal (*Quercus humboldtii*) y plantaciones forestales (*Pinus patula* y *Cupressus lusitanica*) en la cuenca de la quebrada Piedras Blancas (Medellín, Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57(2), 2423.

ANEXOS



Anexo 1: Ubicación de las parcelas de muestreo y parcelas testigo, en las que se aplicaran técnicas de rehabilitación ecológica, Sector Prusia, Parque Nacional Volcán Irazú, Cartago.



Anexo 2: Barreno uno ubicado en el sitio de ciprés donde se encuentra la parcela de muestreo (C1), Sector Prusia, Cartago.



Anexo 3: Barreno uno ubicado en el sitio de Eucalipto donde se encuentra la parcela de muestreo (E1), Sector Prusia, Cartago.



Anexo 4: Barreno uno ubicado en el sitio de Pino donde se encuentra la parcela de muestreo (P1), Sector Prusia, Cartago.



Anexo 5: Perfil 2 en sitio de Ciprés (C1), Sector Prusia, Cartago.