

ARTÍCULO ORIGINAL

Características del suelo y su influencia en el crecimiento de plantaciones de Eucaliptus urograndis en la región Ucayali

Soil characteristics and their influence on the growth of Eucaliptus urograndis plantations in the Ucayali region

José Valdez Campos^{ID 1a*}, Fernando Delgado Monsalve^{ID 2b}, Kevin Isaac Rodríguez Vasquez^{ID 1c}, Steve Garrido Pérez^{ID 1} y Edward Tangoa Tuesta^{ID 1}

¹ Centro de Innovación Productiva y Transferencia Tecnológica Forestal (CITEforestal Pucallpa), Instituto Tecnológico de la Producción (ITP), Pucallpa, Perú

² Refinca Holding SAC (REFINCA), Pucallpa, Perú

^a jvaldez@itp.gob.pe, ^b fdelgado@refinca.com, ^c krodriquez@itp.gob.pe

* Autor de correspondencia

Resumen

En estudio evaluó las características del suelo que influyen en el crecimiento de la especie Eucaliptus urograndis en plantaciones forestales comerciales mediante la caracterización de suelos en campo y laboratorio en 18 parcelas de muestreo, distribuidos en tres estratos de crecimientos. Los resultados de la caracterización de los perfiles de suelo en los 3 estratos de crecimiento indican que la especie se ve favorecido en suelos desarrollados profundos, con horizontes genéticos definidos como "A" muy superficial, horizonte "B" iluvial bien desarrollado y C en proceso de formación, profundidad efectiva superior a los 40 cm, buen drenaje, estructura granular y en bloques, con texturas que van de franco, franco arenoso y arena franca. El crecimiento se ve limitado en suelos superficiales y con mal drenaje. Según los análisis estadísticos de correlación y regresión, el contenido de la fracción arena en el suelo está relacionado con el crecimiento, mostrando así una correlación positiva moderada del 52% y una correlación negativa moderada del -53% fracción de limo y del -44% el hidrogeno cambiante. Los modelos lineales de pronóstico del crecimiento en diámetro en función

de la fracción arena, limo y el hidrogeno cambiante son significativos al 99% y cumplen con los supuestos del modelo mediante el análisis de los residuales.

Palabras claves: Eucaliptus, suelos, correlación, características

Abstract

The study evaluated the soil characteristics that influence the growth of the *Eucalyptus urograndis* species in commercial forest plantations by characterizing soils in the field and in the laboratory in 18 representative sampling plots in three growth strata. The results of the characterization of the soil profiles in the 3 growth strata indicate that the species favors good growth in deep developed soils, with very shallow A genetic horizons well developed alluvial B horizon and C in the process of formation, depth effective over 40 cm, good drainage, granular and blocky structure, with textures ranging from loam, sandy loam and loamy sand. Growth is limited in shallow, poorly drained soil. According to the statistical correlation and regression analyzes, they indicate that the content of the sand fraction in the soil is related to growth, thus showing a moderate positive correlation of 52% and a moderate negative correlation of -53% silt fraction and -44 % hydrogen exchangeable. The linear models for predicting the growth in diameter as a function of the sand, silt and exchangeable hydrogen fraction are significant at 99% and comply with the assumptions of the model by analyzing the residuals.

Keywords: Eucaliptus, soil, correlation, characteristics

Introducción

El uso de especies introducidas ofrece ventajas comparado a especies nativas, en velocidad de crecimiento y turnos de aprovechamiento más cortos. Siendo así el uso de especies nativas en los trópicos se obtendrían incrementos anuales de 5 a 10 m³/ha/año en turnos mínimos de 15-20 años, mientras que con especies de *Eucalyptus* los crecimientos son de 30 a 50 m³/ha/año y el turno se reducirían de 7-10 años; aspecto fundamental para desarrollar proyectos forestales financieramente viables. (Hirigoyen et al., 2018)

La capacidad productiva de un determinado lugar se conoce como calidad de sitio, donde “sitio” está formado por un complejo de factores bióticos y abióticos y su calidad está en función de los factores ambientales relacionados con el suelo, clima, topografía, entre otros (Álvarez y Ruiz 1995). Las combinaciones entre factores edáficos y climáticos son suficientemente precisas para determinar productividad promedio a nivel regional para algunas especies de clima templado (Tyler et al., 1996).

La productividad del sitio forestal se expresa por el volumen de madera producido y mediante el modelo general: $P = f(C, R, S, G, V, A, M, T)$, en donde se asume que los factores Genética (G), Estructura de la comunidad (V), Animales (A) y Influencia Humana (M) son constates y que R esta expresado a través Clima (C) y Suelo (S). Por lo tanto, la productividad del sitio esta expresado por el clima y suelo (Gerding y Schlatter 1995). Dando origen a modelos de productividad mediante el empleo de modelos de regresión lineal múltiple, el cual emplea métodos estadísticos para evaluar la regresión lineal (Green et al., 1989).

Los silvicultores de plantaciones siempre han estado interesados en desarrollar métodos de estimación de la calidad del sitio con respecto a la selección de especies en la forestación, y también en poder predecir la tasa de crecimiento del volumen para obtener los mejores rendimientos para los esfuerzos de manejo (Ringius et al. 1997)

Se han realizado muchos estudios para estimar el índice de sitio para diferentes especies utilizando factores de sitio como variables explicativas, como variables climáticas (Lebourgeois 2007), otros utilizaron suelo y variables topográficas, topográficas y climáticas, respectivamente Monserud et al. (1990) y Rubio y Sánchez-Palomares (2006).

Los estudios relación suelo- calidad de sitio basados en factores topográficos y edáficos se utilizan para estimar calidad de sitio cuando los datos del rodal como altura y edad dominantes no están disponibles. Se sabe que los suelos son producto de los factores de formación del suelo y cada uno tiene sus propias características físico químicas dependiendo del tipo y grado de acción de los factores y van a influir en el comportamiento del suelo para el crecimiento de las plantas (Tsui et al., 2004)

Los factores topográficos se utilizan generalmente en combinación con factores edáficos. La textura del suelo y los niveles de nutrientes se utilizan comúnmente para estimar el índice del sitio (Baker & Broadfoot 1979).

La productividad del sitio está determinada en gran medida por el suelo u otras propiedades características del sitio que influyen en la calidad y cantidad de espacio para el crecimiento radicular”. (Colie, 1952). En este sentido en el crecimiento libre del sistema radicular lo determinar la profundidad efectiva del suelo. Cuando esta característica resulta una limitante debido a la presencia de horizonte plántico, fragipán y duripán, u otros horizontes de baja permeabilidad para las raíces, se puede predecir razonablemente el patrón de crecimiento de los árboles (Karschon y Pragg, 1954).

Por otro lado, (Rasltón, 1964) indica crecimiento de los árboles aumenta con el aumento del contenido de limo y arcilla, debido a un suministro más favorable de agua y nutrientes, hasta un punto en el que la adición de partículas finas compromete la aireación del suelo.

Determinar las características del suelo que influyen en el crecimiento de la especie *Eucalyptus urograndis* en plantaciones forestales comerciales en tres estratos de crecimiento mediante la caracterización de la morfología interna del perfil de suelos y el análisis estadístico de correlación y regresión.

Material y métodos

Descripción de la ubicación

El área de estudio abarca las regiones de Huánuco y Ucayali. Las plantaciones abarcan un total de 2000 has distribuidos en cinco sitios denominados Agua Dulce, Los Ángeles, Arboleda, Reforma, Refinca 1 y Refinca 3. Las plantaciones fueron establecidas en suelos de áreas degradadas los cuales estaba siendo ocupados por cultivos como palmas, pastos y purmas barbechos abandonados.

Las coordenadas UTM de los 18 sitios evaluados se muestran en la Tabla 1 y la ubicación de cada uno de ellas en la Figura 1.

Tabla 1

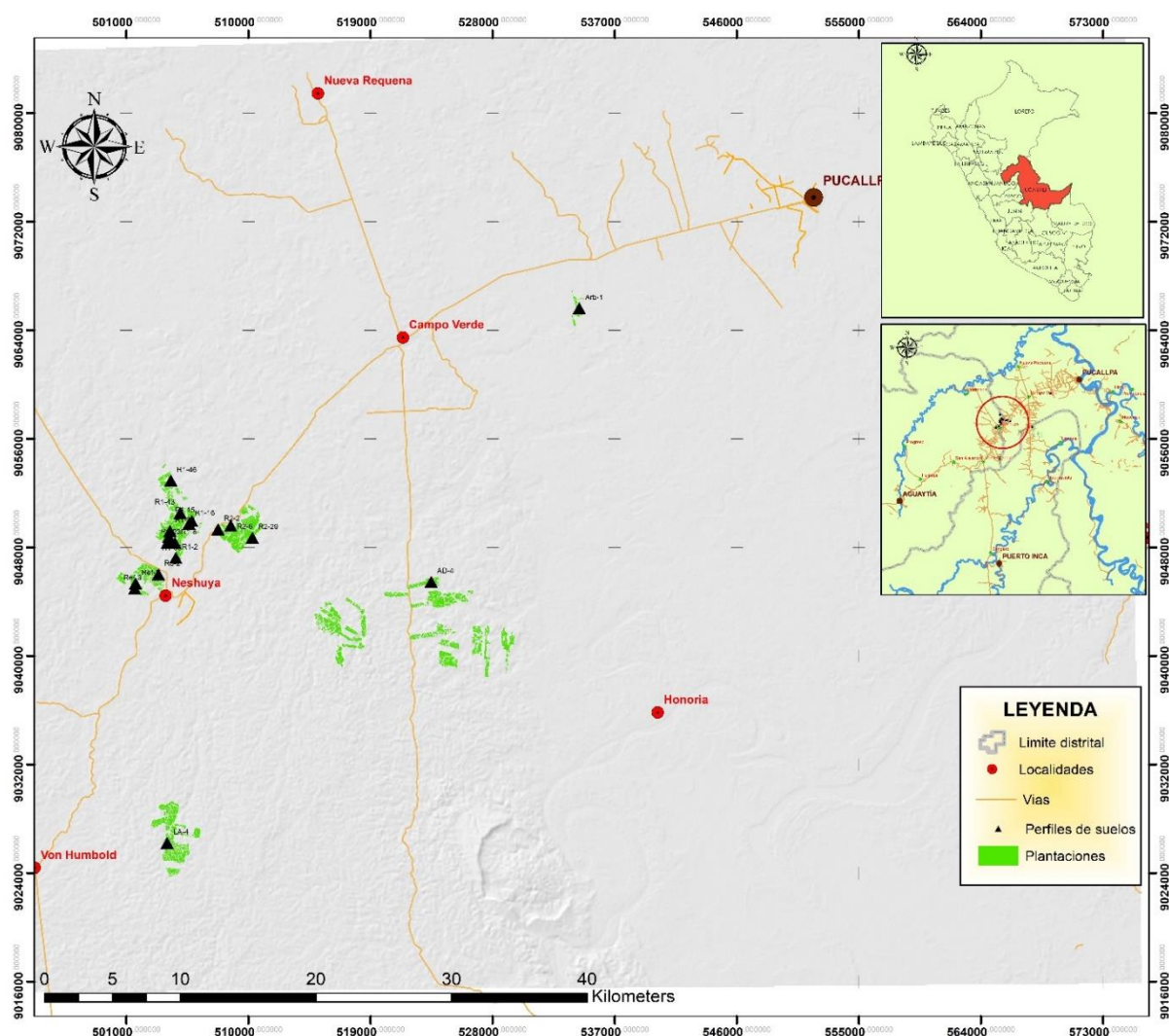
Coordenada UTM de las unidades de muestreo evaluadas

Unidad Muestreo	Sitio	Código	Este	Norte
1	Agua Dulce	AD-4	523466	9045479
2	Refinca 1	R1-36	504128	9048785
3	Los Ángeles	LA-4	504016	9026234
4	Refinca 2	R2-29	510285	9048727
5	Reforma	Ref-3	501621	9044969
6	Reforma	Ref-3	501677	9045355
7	Refinca 2	R2-6	508695	9049618
8	Refinca 1	R1-43	504965	9050539
9	Refinca 3	R3-2	503368	9046027
10	Refinca 2	R2-2	507758	9049345

11	Refinca 1	R1-39	504213	9049224
12	Refinca 1	R1-23	504031	9048355
13	Refinca 1	R1-15	505812	9049964
14	Refinca 1	R1-16	505609	9049743
15	Refinca 1	R1-8	504573	9048350
16	Refinca 1	R1-2	504644	9047245
17	Arboleda	Arb-1	534393	9065633
18	Refinca 1	R1-46	504280	9052932

Figura 1

Mapa de ubicación de los 4 sitios de estudio



Características del lugar

El área de estudios, según la clasificación de Zonas de Vida por Holdrige, pertenecen a un Bosque Húmedo Tropical (bh-T), la cual presenta una precipitación media anual de 2200 mm a 2400 mm y una temperatura media anual de 25°C. El clima se caracteriza por un clima cálido, lluvioso, con lluvia abundante en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como muy húmeda.

La fisiografía corresponde a Terrazas altas ligeramente disectadas y terrazas altas de drenaje pobre para el distrito de Neshuya, Terraza alta plano ondulado y Terraza media plano ondulado para el distrito de Campo Verde, Colina baja inclinada ligeramente disectada para el distrito de Alexander Von Humboldt y Terraza Media Plano Ondulada para Terraza Media Plano Ondulado para el distrito de Honoria.

Los suelos de los distritos de Neshuya, Von Humboldt, Campo Verde y Honoria presentan suelos del orden de los Alfisoles y Inceptisoles que se caracterizan por ser suelos desarrollados y de moderadamente profundos a profundos. En el distrito e Campo Verde también se encuentran suelos del orden Entisoles que se caracterizan por ser suelos poco desarrollados con problemas de mal drenaje. Los suelos de Neshuya, Von Humboldt, Campo Verde y Honoria corresponden a suelos Aptos para Cultivos Permanentes y de Protección en algunos sitios en específico en Campo Verde.

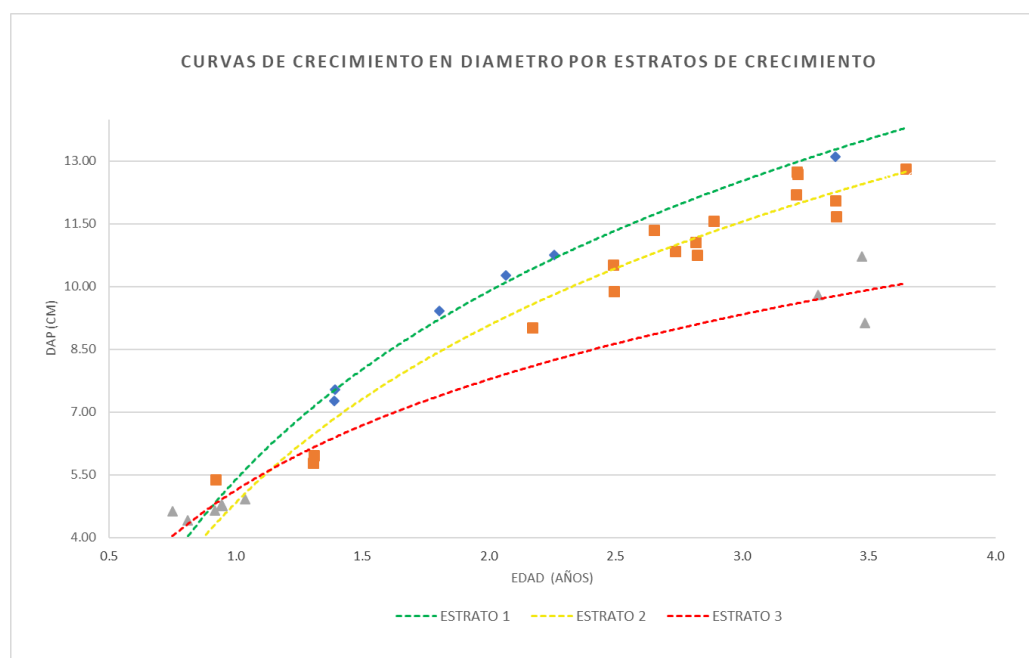
La geología del lugar pertenece a la formación Ucayali para los distritos de Neshuya y Campo Verde y la Formación Ipururo para el distrito Von Humboldt y Honoria. La formación Ucayali se caracteriza por presentar Arcillas, Limo-Arcillitas, Areniscas y Conglomerados. La formación Ipururo de caracteriza por la presencia de Lodolitas, Limolitas, Areniscas y Conglomerados.

Elección de las unidades de muestreo

Refinca cuenta con 2000 has de plantaciones distribuidos en 6 sitios; además como parte del monitoreo del crecimiento, cuenta una red de 86 parcelas permanentes de medición distribuidos en 3 estratos de crecimiento según se muestra en el Figura 2.

Figura 2

Curvas de crecimiento por estrato de crecimiento Bueno =1, Medio =2 y Marginal =2



Se verificaron en campo las parcelas representativas del tipo de crecimiento a fin de elegir el muestreo de suelos y de medición de los árboles en pie para el estudio. Los criterios para la elección de las parcelas en campo fue verificar mediante la evaluación de los perfiles si el crecimiento obedecía a las condiciones de suelo como mal drenaje, profundidad efectiva, estructura y no a factores como manejo y genético, con la finalidad de minimizar el efecto de la variabilidad del crecimiento por otros factores que no sean el suelo. Se logró elegir 18 unidades de muestreo según se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Unidades de muestreo de perfiles elegidas por sitio, edad y estrato de crecimiento

UM	Sitio	Código	Edad (años)	Este	Norte	Estrato
1	Agua Dulce	AD-4	1.65	523466	9045479	Bueno
2	Los Ángeles	LA-4	1.96	504016	9026234	Bueno
3	Refinca 1	R1-36	2.12	504128	9048785	Bueno

4	Refinca 2	R2-29	2.50	510285	9048727	Bueno
5	Reforma	Ref-3	2.54	501621	9044969	Bueno
6	Reforma	Ref-3	2.54	501677	9045355	Marginal
7	Refinca 2	R2-6	2.62	508695	9049618	Marginal
8	Refinca 1	R1-46	2.64	504280	9052932	Medio
9	Refinca 1	R1-43	2.66	504965	9050539	Medio
10	Refinca 3	R3-2	2.82	503368	9046027	Marginal
11	Refinca 2	R2-2	3.57	507758	9049345	Bueno
12	Refinca 1	R1-39	3.65	504213	9049224	Bueno
13	Refinca 1	R1-23	3.98	504031	9048355	Medio
14	Refinca 1	R1-15	4.40	505812	9049964	Bueno
15	Refinca 1	R1-16	4.40	505609	9049743	Bueno
16	Refinca 1	R1-8	4.65	504573	9048350	Marginal
17	Refinca 1	R1-2	5.07	504644	9047245	Medio
18	Arboleda	Arb-1	5.49	534393	9065633	Marginal

Medición de los árboles en pie en unidades de muestreo

Se realizó la medición de los árboles en pie dentro de cada parcela circular de 500 m² de las 18 elegidas. Las variables que se tomaron fueron el diámetro a la altura del pecho (DAP) con una cinta diamétrica; la altura no fue registrado debido que iba ser estimado y por lo tanto dicho dato iba carecer de precisión y exactitud

Caracterización de suelos en campo y laboratorio

Se realizó un perfil de suelo en cada unidad de muestreo cuya configuración fue de 60 cm de profundidad en donde evaluó las características morfológicas internas y externas del perfil del suelo. Las características de la morfología interna evaluados fueron el drenaje, color, profundidad efectiva, raíces, horizontes genéticos, consistencia y estructura. Las características de la morfología externa fueron pendientes, altitud y ubicación.

Las muestras de suelos fueron colectadas por segmento de 0-20 cm, 20-40 cm y de 40-60 cm, se colectó aproximadamente 500 gramos de suelo, los cuales fueron etiquetados siguiendo la cadena de custodia y almacenados en bolsas plásticas limpias. Las muestras fueron enviados a los laboratorios de Valle Grande en Cañete. El tipo de análisis de laboratorio realizados fue de caracterización y micro elementos.

Los parámetros determinados en la caracterización fueron: Textura, Carbonatos de calcio, Conductividad eléctrica, pH en agua y cloruro de potasio, Fosforo disponible, Materia Orgánica, Potasio disponible, Cationes cambiabiles (Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Aluminio y Hidrogeno) y Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva. Los micro elementos determinados fueron Cobre, Zinc, Manganeso, Hierro y Boro.

Procesamiento de los resultados y análisis estadístico

Los resultados de las mediciones de los árboles en pie fueron procesados con el software de lenguaje de programación y análisis estadístico del R studio utilizando las distintas paqueterías, para lo cual se realizó el análisis exploratorio del de los resultados del DAP para conocer su distribución, comportamiento y variabilidad mediante análisis de la estadística, descriptiva y diagramas de dispersión y limpieza de datos por valores atípicos y prueba de normalidad según el test de Shapiro-Wilk y elaboración de gráficos.

Los resultados de los análisis de suelos fueron promediados a 40 cm y 60 cm de profundidad, además se elaboró una matriz de los resultados de las características del suelo y el crecimiento en DAP para su procesamiento y análisis estadístico. Se realizó el análisis de correlación de Pearson y se seleccionaron las variables de correlación positiva y negativa moderada y posteriormente se construyeron modelos lineales de pronóstico de crecimiento del diámetro y se realizó el análisis de varianza (ANOVA) y además se realizó la comprobación del supuesto de los modelos de los valores de los residuales.

Resultados y discusiones

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la estadística descriptiva del diámetro de las 18 parcelas de muestreo, su valor de la desviación estándar (sd) toma valores desde 0.86 (menor variabilidad) hasta 3.59 (mayor variabilidad). Los valores de asimetría toman valores negativos y positivos, pero no superan el valor de 1. Para el caso de los valores negativos nos está indicando que las poblaciones de individuos dentro la parcela están distribuidas por encima del valor promedio del DAP y en los valores positivos están distribuidos por debajo del valor promedio del DAP.

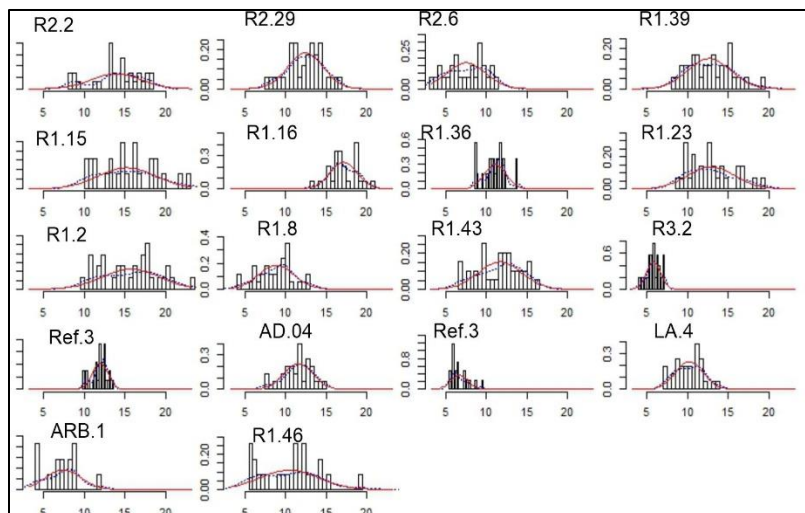
Tabla 3*Estadísticos del DAP de las parcelas de muestreo por cada estrado de crecimiento*

Nº	Estrato	Código	Edad (años)	DAP (cm)	n	media	sd	min	max	skew	kurtosis	se
1	Bueno	AD-4	1.72	11.61	30	11.61	1.79	7.5	14.8	0.44	-0.24	0.33
2	Bueno	LA-4	2.04	10.24	31	10.24	1.71	7.3	14	0.1	-0.86	0.31
3	Bueno	R1-36	2.19	11.1	27	11.1	1.34	8.7	13.8	-0.1	-0.36	0.26
4	Bueno	R2-29	2.58	12.1	36	12.15	2.51	6.5	16.6	-0.44	-0.39	0.42
5	Bueno	Ref-3	2.61	11.9	34	12.05	0.94	9.9	13.6	-0.54	-0.36	0.16
6	Marginal	Ref-3	2.61	6.71	21	6.71	1.08	5.5	9.5	1.01	0.07	0.24
7	Marginal	R2-6	2.69	7.6	27	7.56	2.38	3.3	11.5	-0.15	-1.28	0.46
8	Medio	R1-46	2.72	10.6	23	10.56	3.61	5.5	19.4	0.37	-0.55	0.75
9	Medio	R1-43	2.73	11.7	39	12.1	2.62	6.5	16.5	-0.31	-0.87	0.42
10	Marginal	R3-2	2.89	5.84	30	5.84	0.86	4	7.2	-0.25	-0.64	0.17
11	Bueno	R2-2	3.64	13.9	30	13.94	3.02	8.3	18.3	-0.48	-0.79	0.55
12	Medio	R1-39	3.73	12.72	35	12.72	2.65	8	19.3	0.3	-0.59	0.45
13	Medio	R1-23	4.05	12.96	28	12.96	2.91	8.5	19.2	0.45	-0.84	0.55
14	Bueno	R1-15	4.47	15.3	25	15.29	3.59	10.3	22.9	0.31	-0.88	0.72
15	Bueno	R1-16	4.47	17.16	29	17.16	1.67	13.3	20.8	0.01	0.37	0.31
16	Marginal	R1-8	4.73	8.9	34	8.92	2.18	4.4	13	-0.19	-0.51	0.37
17	Medio	R1-2	5.14	15.75	31	15.75	3.52	9.5	23.1	0.02	-1.04	0.63
18	Marginal	Arb-1	5.56	7.43	14	7.43	2.18	4	12	0.11	0.65	0.58

De la figura 3, se observa la distribución de los valores del DAP y las tendencias de su distribución. Según la prueba de normalidad Shapiro-Wilk todas las parcelas cumplen con la normalidad de datos, debido que el p value es mayor a 0.05, a excepción de las parcelas R2.2 y REF.3. Como se evidencia existe una variabilidad del diámetro dentro de las parcelas de muestreo, salvo las parcelas R2.29, LA.4 y AD.4. Dicha variabilidad puede atribuirse a la variabilidad genética o de manejo.

Figura 3

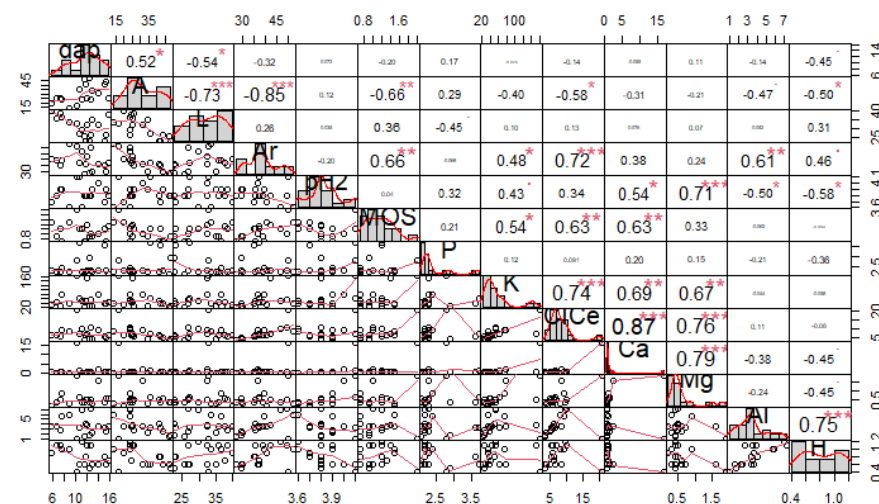
Histograma de frecuencias del DAP de las parcelas de muestro



De la Figura 4, se observa los resultados de la correlación de la variable del crecimiento DAP con las 12 características de suelo. Las variables con una correlación positiva y negativa moderada son las variables % Arena, %Limo e Hidrogeno cambiabile. Las demás variables presentan una baja correlación con la variable del crecimiento del DAP. Las variables edáficas entre sí, tienen una alta correlación positiva como el caso del contenido de la arcilla de 0.72 con la capacidad de intercambio catiónico debido el desarrollo de cargas que presentan las partículas de arcilla.

Figura 4

Diagrama de correlación del diámetro con las variables edáficas de suelo



De la Tabla 4, se muestran los resultados del análisis de correlación de Pearson del DAP con las características del suelo. El contenido de la fracción Arena muestra una correlación positiva moderada con el diámetro, demostrando que se encuentra relacionado con el crecimiento en diámetro en un 52%. Ello explica en cierta medida que se requiere suelos de textura gruesa a moderadamente gruesa con una buena aireación y drenaje para una adecuada circulación del aire y el agua en el suelo favoreciendo el crecimiento.

La fracción Limo del suelo muestra una correlación negativa moderada, demostrando que se encuentra relacionado negativamente con el crecimiento en diámetro en un -53%, por lo tanto, en suelos con altos contenidos de limo se puede ver afectado el crecimiento en diámetro debido a la poca aireación y drenaje; de la misma manera el hidrógeno cambiante conjuntamente con el aluminio presenta una correlación negativa en un -44%, ello explica que pH muy ácidos donde existe una actividad del hidrógeno afecta el crecimiento.

Tabla 4

Coefficientes de correlación de la variable dasométrica con las variables edáficas

Variable edáfica	Coefficiente correlación	Calificación
%Arena	0.51	Correlación positiva moderada
%Limo	-0.53	Correlación negativa moderada
%Arcilla	-0.32	Correlación negativa baja
pH KCl	0.072	Correlación positiva muy baja
%Materia orgánica	-0.20	Correlación negativa baja
Fosforo disponible	0.16	Correlación positiva muy baja
Potasio disponible	-0.026	Correlación negativa muy baja
CICE efectiva	-0.13	Correlación negativa muy baja
Ca cambiante	-0.05	Correlación negativa muy baja
Magnesio cambiante	0.10	Correlación positiva muy baja
Aluminio cambiante	-0.13	Correlación negativa muy baja
Hidronio cambiante	-0.44	Correlación negativa moderada

De la figura 5, se aprecia de manera ilustrativa la correlación positiva y negativa moderada existente entre el DAP y la fracción de los porcentajes de arena, limo y arcilla y el hidrogeno cambiante del suelo, mostrándose las características del suelo ordenadas de mayor correlación a menor

Figura 5

Correlograma de la variable dasometrica (DAP) y de las variables edáficas



Con aquellas características del suelo, con correlación positiva y negativa moderados, se construyeron modelos lineales de pronóstico de crecimiento del diámetro. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA) cuyos resultados se muestran en la Tabla 5. Cada modelo resultó significativo al 99%, el cual explica estadísticamente que el porcentaje de arena en el suelo influye positivamente y al contrario el porcentaje de limo en el suelo influyen nativamente en el crecimiento, al igual que el hidrogeno cambiante como fuente de acides del suelo.

Tabla 5

ANOVA al 99% de los Modelos lineales de pronóstico del crecimiento del diámetro

Modelo lineal	Ecuación	p valúe	R2
Diámetro = f (%arena)	DAP=6.75643+0.14653 (%Arena)	0.02716 *	0.27
Diámetro = f (% limo)	DAP=19.9156- 0.2798 (%Limo)	0.02208 *	0.28
Diámetro= f (H+ cambiabile)	DAP=15.607-5.376 (Hidrogeno)	0.02716 *	0.20

En la Figura 6, se muestra los gráficos de comprobación de los supuestos de los 3 modelos de pronósticos de crecimiento del diámetro. Mediante el análisis de los residuales cumple con los cuatros supuestos de linealidad, normalidad, homocedasticidad e independencia.

Figura 6

Comprobación de los supuestos de los modelos lineales

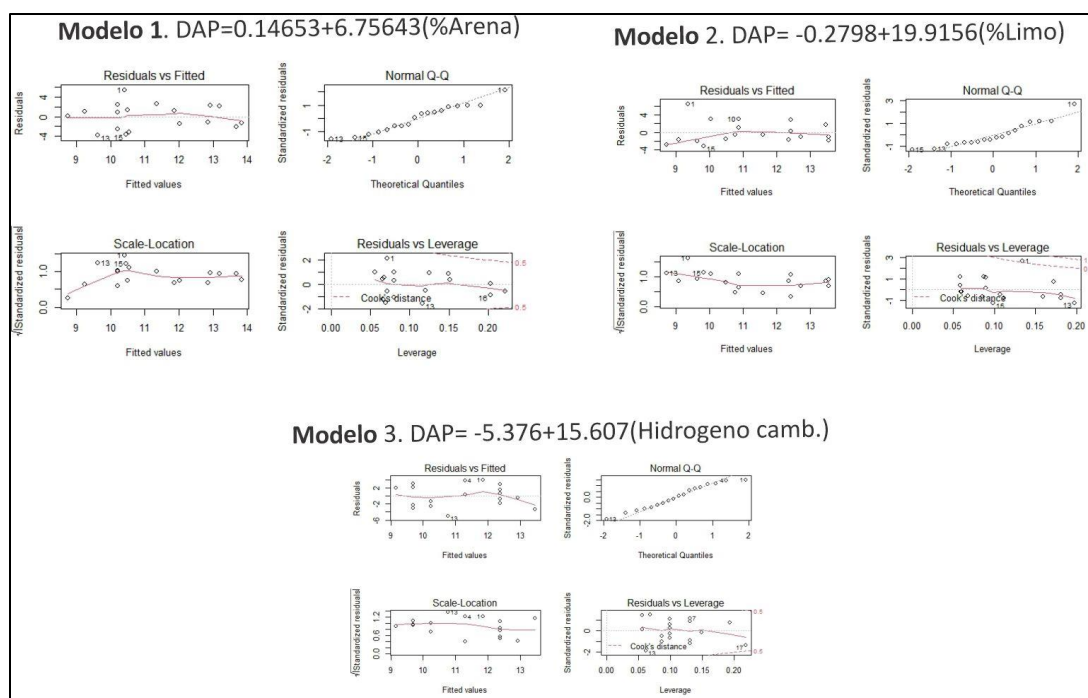


Tabla 6

Caracterización morfológica interna y externa del perfil del suelo por estrato de crecimiento Bueno, Medio y Marginal

Calidad de sitio	P.E (cm)	Hz Genéticos	Estructura	Consistencia	Drenaje	Color munsell	Pendiente	Textura
Bueno	40 a +	A-B1-B2-B3	Granular-Bloques-	Friable,	Bueno,	10 YR 4/6	1% al 5%	Franco a franco arenoso
		A-B1-B2-BC-C		Firme	Moderado	10 YR 6/\$		
		A-B-C				7.5 YR 5/6		
						5YR 5/6		
Medio	20 a 40	A-B-BC	Granular-Bloques-Masivo	Firme, muy firme	Moderado	10 YR 4/2	1 al 5%	Franco arcilloso a arcilloso
		A-BC-C			Pobre	7.5 YR 5/6		
						5 YR 6/6		
Bajo Marginal	0 a 20	A-BC-C	Granular-Masivo	Friable, muy firme	Muy pobre, pobre	10 YR7/1	1% a 3%	Arcilloso
		A-C				2.5 YR 4/6		

Según los resultados mostrados en la tabla 6, Los suelos del estrato de crecimiento bueno, el sistema radicular presenta un mejor desarrollo y consecuentemente una mayor exploración en la absorción de los nutrientes. Estos suelos presentan profundidad efectiva superior a los 40 cm, con horizontes de desarrollo “A”, “B” y “C”; el Horizonte superficial “A” presenta un espesor en promedio de 5 cm, el cual le brinda cierta fertilidad natural y mejora de las propiedades físico y químicas por la acumulación y descomposición de restos orgánicos. El horizonte B de iluviación de arcilla es de mayor profundidad y a medida que se profundiza el horizonte se vuelve firme incrementándose la compactación sub superficial reduciendo el espacio poroso para el desarrollo radicular.

En los suelos de estrato de crecimiento medio, la profundidad efectiva es de 20 a 40 cm de profundidad, menor a los suelos de estrato de crecimiento bueno; las condiciones de drenaje natural desmejoran de moderado a pobre. Estos suelos presentan horizontes de desarrollo “AB” y “BC” y “AB” y “C”. El horizonte B presentan moteaduras debido a las condiciones de óxido- reducción por las fluctuaciones de la

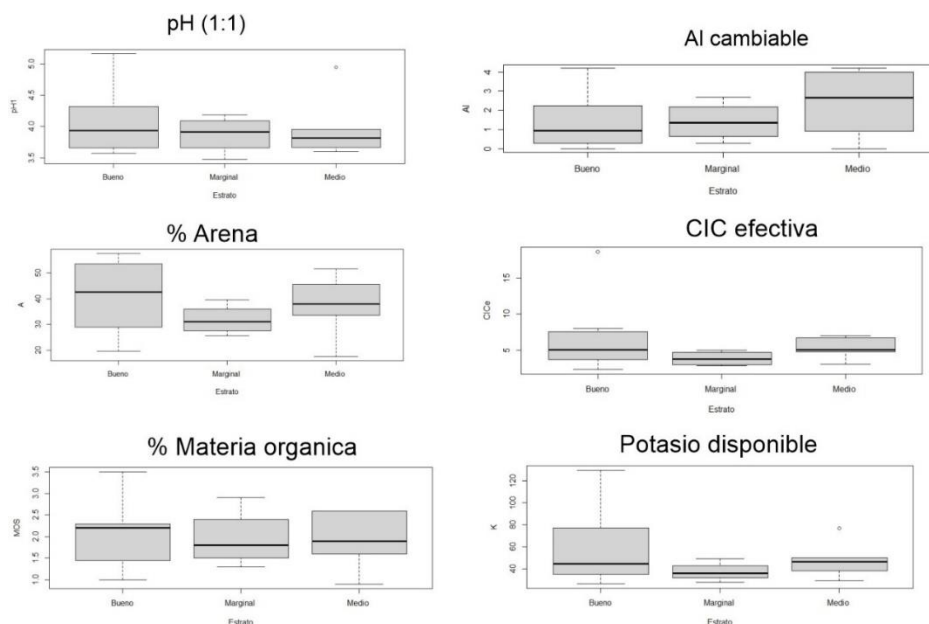
saturación de agua en el perfil del suelo debido a la topografía o la condición física propia del suelo. El horizonte “C” con mala estructuración y drenaje que impide el crecimiento radicular.

En los suelos de estrato de crecimiento marginal, la profundidad efectiva es de 20 cm de profundidad y presenta un débil desarrollo del perfil del suelo el cual impide el desarrollo del sistema radicular para garantizar el crecimiento futuro del árbol hasta la cosecha final. Característica común de estos suelos es el proceso de gleyzación que le brinda un color pardo grisáceo al perfil del suelo, presencia de una tabla de agua y mala estructura del suelo. Estos suelos presentan limitaciones física y químicas para el crecimiento de los árboles. Se caracterizan por presentar horizontes genéticos de desarrollo “AC”.

En la figura 7, se observa el comparativo de las características del suelo por estrato de crecimiento. Siendo así El pH del suelo, Potasio disponible y la CIC efectiva no muestran una diferencia significativa marcada por cada estrato de crecimiento. Resulta lo contrario para las características del suelo como el porcentaje de Arena que es mayor en el estrato de crecimiento bueno. Otra característica del suelo de trata del Aluminio cambiante que es mayor en el estrato de crecimiento marginal y medio, el cual esta relacionado directamente con la acidez del suelo.

Figura 7

Diagramas de caja de las variables edáficas de 0-20 cm por estratos de crecimiento



Conclusiones

El crecimiento en DAP dentro de las parcelas de muestreo presentan variabilidad, a excepción de las parcelas R2.29, LA.4 y AD.4 con crecimiento bueno donde el comportamiento del diámetro presenta menor variabilidad, el cual puede atribuirse a la calidad del material genético.

Según la caracterización de la morfología interna del perfil del suelo, el crecimiento del *Eucaliptus urograndis* se ve favorecido en suelos con buen drenaje, profundidad superior a 40 cm, textura de franco a franco arenoso y arenoso, suelos profundos desarrollados con horizontes genético superficial "A", horizonte iluvial desarrollado "B" y "C" en formación.

Según los análisis estadísticos de correlación indican que el contenido de la fracción arena en el suelo está relacionado con el crecimiento, mostrando así un coeficiente de determinación positiva moderada de 0.52. Explicando así que el 52% del crecimiento está relacionado con el contenido de la fracción arena.

Según los análisis estadísticos de correlación indica que el contenido de la fracción limo y el aluminio cambiante presentan una correlación negativa moderada con un coeficiente de determinación del -0.53 y -0.44, el cual indica que a medida que disminuyen la fracción limo y el hidrogeno cambiante se ve favorecido el crecimiento.

Según el análisis de regresión lineal múltiple, los modelos lineales de pronóstico del crecimiento en diámetro en función de la fracción arena, limo y el hidrogeno cambiante son significativos al 99% y cumplen con los supuestos del modelo mediante el análisis de los residuales.

Contribución de autoría

José Valdez Campos, planteó la propuesta de la investigación y ejecución. Realizo el acompañamiento desde la identificación de la necesidad de la investigación hasta lograr redacción y la publicación de la investigación.

Fernando Delgado Monsalve, ejecutó las actividades planteadas en la investigación y la asignación de los recursos, así como la identificación de los sitios propuestos para la investigación.

Kevin Rodríguez, realizó el monitoreo, seguimiento y gestión de la investigación.

Junior Steve Garrido Pérez, revisó de la propuesta de investigación y de los resultados finales de la investigación y aportes al documento.

Edward Tangoa Tuesta, aprobó la propuesta y gestiona los fondos para llevar a cabo la investigación. Además, reviso los resultados de la investigación.

Conflictos de interés

No existe conflicto de interés institucional o económica.

Referencias

- Álvarez, J, Ruiz, A. (1995). *Dasometría: Introducción a las Técnicas de Modelización Forestal*. Madrid, España, Unicopia. <https://bit.ly/3sJGFql>
- Baker, J.B, Broadfoot, W.M. (1979). A practical field method of site evaluation for commercially important southern hardwoods. Gen. Tech. Rep. SO-26, USDA Forest Service, Southern Forest Experiment Station, New Orleans, LA, USA, p. 51. https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/gtr/gtr_so026.pdf
- COILE, T.S. (1952). Soil and the growth of forests. *Advances in agronomy*, New York, 4: 329-98. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60313-2](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60313-2)
- Gerding, V., Schlatter, J. E. (1995). Variables y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D. Don en Chile. *Bosque*, 16(2), 39–56. <https://doi.org/10.4206/bosque.1995.v16n2-04>
- Green, R, Marshall, P., Klinka, K. (1989). Estimating Site Index of Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* [Mirb.] Franco) from Ecological Variables in Southwestern British Columbia, *Forest Science*, Volume 35, Issue 1, March 1989, 50–63, <https://doi.org/10.1093/forestscience/35.1.50>
- Hirigoyen, A., Franco, J., & Diéguez, U. (2018). Modelo dinámico de rodal para *Eucalyptus globulus* (L.) en Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 22(1), 63–80. <https://doi.org/10.31285/agro.22.1.7>
- Karchon, R. & Praag, J. Growth of red gum (*Eucalyptus rostrata*) as influenced by depth of hardpan. *La Yaaran*, 4: 14-7, 1954. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4831-9975-7.50009-0>
- Lebourgeois F (2007) Climatic signal in annual growth variation of silver fir (*Abies alba* Mill.) and spruce (*Picea abies* Karst.) from the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Ann For Sci* 64:243–333. <https://doi.org/10.1051/forest:2007010>
- Ralston, C.W. Evaluation of forest site productivity. In: INTERNATIONAL REVIEW OF FOREST RESEARCH, New York, 1964. Proceedings. New York, Academic Press, 1964. v.1, p.171-201. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4831-9975-7.50009-0>
- Robert A. Monserud, Ula Moody, and David W. Breuer (1990). A soil-site study for inland Douglas-fir. *Canadian Journal of Forest Research*. 20(6): 686-695. <https://doi.org/10.1139/x90-092>

- Rubio, A. Sánchez-Palomares, O. (2006). Physiographic and climatic potential areas for *Fagus sylvatica* L. based on habitat suitability indicator models, *Forestry: An International Journal of Forest Research*, Volume 79, Issue 4, 439–451. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpl025>
- Tyler, A. L., Macmillan, D. C., & Dutch, J. (1996). Models to predict the General Yield Class of Douglas fir, Japanese larch and Scots pine on better quality land in Scotland. *Forestry*, 69(1), 12–24. <https://doi.org/10.1093/forestry/69.1.13>
- Tsui, C. C., Chen, Z. S., & Hsieh, C. F. (2004). Relationships between soil properties and slope position in a lowland rain forest of southern Taiwan. *Geoderma*, 123(1–2), 131–142. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.01.031>