

Factores de sitio y crecimiento de plantaciones de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) en Guatemala



Site factors and growth of Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) plantations in Guatemala

**Revista Cubana de Ciencias Forestales
Año 2016, Volumen 4, número 2**

Boris Augusto Méndez Paiz¹, Eddi Alejandro Vanegas Chacón²

¹Maestro en Ciencias Forestales. Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala. Oficina A4, Edificio T-8, Ciudad Universitaria, Zona 12, Ciudad Guatemala.

Correo electrónico: bmpaiz@yahoo.com

²Doctor en Ciencias Forestales. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala. Correo electrónico: vanegaseddi@gmail.com

RESUMEN

El crecimiento arbóreo es expresión de la confluencia de factores como la ecofisiología y genética de las especies, la calidad de sitio y el manejo forestal. Es objetivo de esta investigación identificar los factores relevantes de sitio que propicien o limiten el desarrollo de la especie. Se muestrearon en forma sistemática veinte sitios ubicados en las Tierras Bajas de las vertientes Pacífico y Atlántico de Guatemala; en cada sitio se obtuvo una muestra de suelo de la capa superficial (0-30 cm). En laboratorio se determinó textura y se realizó análisis de rutina de suelos. Por análisis de componentes principales se determinaron las propiedades fisicoquímicas de suelo que explican la variabilidad edáfica de los sitios. Por clusterización aglomerativa jerárquica se calificaron los sitios por Clases, y por prueba de correlación de Pearson se determinó la asociación entre los parámetros fisicoquímicos de suelo y el crecimiento arbóreo. Se concluyó que los contenidos de Ca, Zn, materia orgánica y % de arcilla explicaron la variabilidad edáfica de sitio en 71.44%. Los sitios se agruparon en cuatro clases, siendo la Clase I la categoría con

ABSTRACT

Tree growth is an expression of the confluence of factors such as eco-physiology and genetics of the species, site quality and forest management. The goal of this research is to determine the physicochemical properties of soils that influence the growth of *Tabebuia donnell-smithii* in pure plantations, to allow the identification of relevant site factors that enhance or limit the development of the species. Twenty sites were sampled systematically; sites were located in the Pacific and Atlantic lowlands of Guatemala; in each site a soil sample was collected in the surface (0-30 cm) layer. In the laboratory texture was determined and a routine nutrient analysis of soil was carried out. Using principal component analysis, the soil physicochemical properties that explain the soil variability among sites were determined. By hierarchical agglomerative clustering, the sites were graded in classes; finally, by Pearson correlation test, the association between the physical and chemical parameters of soil and tree growth was established. As a conclusion, the content of Ca, Zn, organic matter and % of clay explained the site soil variability in 71.44%. Sites

mejores sitios, caracterizada por suelos con contenidos de arcilla de 11.60%, materia orgánica 5.99%, contenido de Ca 6.72 y Zn 3.56 mg/Kg, respectivamente. El crecimiento arbóreo estuvo asociado directamente al contenido de materia orgánica del suelo 0.97 (p-valor= 0.032) e inversamente al % de arcilla -0.94 (p-valor= 0.062).

Palabras clave: Edafología forestal; Plantaciones forestales; Crecimiento arbóreo; Especies forestales nativas.

INTRODUCCIÓN

El establecimiento y manejo de plantaciones forestales en los trópicos y sub-trópicos está ganando importancia debido a la creciente demanda de madera y al agotamiento de los bosques naturales (Onyekwelu *et al.*, 2011); las plantaciones pueden ser clasificadas como productoras de madera y otros bienes o como protectoras, es decir, orientadas a proporcionar servicios ecosistémicos, tales como la conservación de suelo y agua, absorción de carbono, rehabilitación de tierras degradadas (Montagnini, 2005; Montagnini, 2011; Gong *et al.*, 2013) y conservación de biodiversidad (Pryde *et al.*, 2015). El cultivo de especies exóticas predomina en plantaciones tanto para uso industrial como para desarrollo rural; sin embargo, investigaciones en distintas partes del trópico demuestran las ventajas de incluir especies nativas para reforestación y restauración forestal (Hall *et al.*, 2011; Bare y Ashton, 2016; Camacho, Alvarado y Fernández-Moya, 2016). A diferencia de las especies exóticas, para las especies nativas del trópico húmedo, la información sobre su ecología y silvicultura es limitada, situación que dificulta su cultivo (Hoerber *et al.*, 2014) y aprovechamiento sostenible.

Estudios del comportamiento de especies cultivadas en rangos amplios

de condiciones ambientales son necesarios para identificar los factores

were classified into four classes. Class I, the one with best sites, showed soils with clay content of 11.60%, 5.99% organic matter, 6.72 mg/Kg of Ca and 3.56 mg/KG of Zn, respectively. Tree growth was linked directly to the content of soil organic matter by 0.97 (p-value = 0.032) and inversely to clay content -0.94% (p-value = 0.062).

Key words: Forest soil science; Forest plantations; Tree growth; Native tree species.

limitantes al desarrollo (Manson *et al.*, 2013; Camacho, Alvarado y Fernández-Moya, 2016) y generar la base para la elaboración de modelos de predicción del rendimiento (Hung *et al.*, 2016).

Trabajos recientes muestran que la presencia, abundancia y desarrollo de las especies puede estar fuertemente asociada a condiciones particulares de suelo (Geronazzo *et al.*, 2015; Camacho, Alvarado y Fernández-Moya, 2016; Bare y Ashton, 2016). Históricamente el Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose), familia Bignoniaceae, formó parte de los bosques nativos de las regiones tropicales húmedas de Mesoamérica, que cubrían en Guatemala las Tierras Bajas del Pacífico (Standley *et al.*, 1974). Estos bosques fueron reemplazados prácticamente en su totalidad en el país para dar paso a sistemas agropecuarios, conservándose algunas de las especies arbóreas en sistemas agroforestales, particularmente en fincas ganaderas y plantaciones de café, donde la especie ha sido cultivada como árbol de sombra y para el aprovechamiento de su valiosa madera.

A partir de 1997 con la implementación del Programa Nacional de Incentivos Forestales (PINFOR) se promovió el establecimiento de plantaciones forestales. Para las Tierras Bajas y

húmedas del país (sitios menores a 1000 m de altitud y precipitación superior a 1500 mm anuales), aún cuando predomina el cultivo de especies exóticas como *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*, existe un interés creciente por plantar especies nativas, destacando *Tabebuia donnell-smithii* como la especie nativa más ampliamente cultivada con incentivos del Estado en plantaciones forestales, reportándose hasta el año 2012 alrededor de 6,200 hectáreas (INAB, 2016).

Debido a la escasa información del cultivo en plantaciones para *Tabebuia donnell-smithii*, se desconoce cuál pueda ser su adaptación, crecimiento y rendimiento en respuesta a las diferentes condiciones de sitio en que está siendo cultivada, particularmente por la diversidad de condiciones de suelo existentes en Guatemala, por lo que el objetivo de esta investigación es identificar los factores de sitio que favorecen o limitan el desarrollo de la especie y a partir de ello, proporcionar recomendaciones para una mejor

selección de sitios previo al establecimiento de las plantaciones.

MATERIAL Y MÉTODO

Ubicación geográfica y estado de las plantaciones

Para evaluar el efecto que ejercen los factores de sitio a partir de variables físico-químicas del suelo en el crecimiento de plantaciones de Palo Blanco, se seleccionó una muestra de 20 sitios con plantaciones de edad variable (entre 5 y 15 años), cultivadas en Tierras Bajas del Pacífico y Atlántico de Guatemala, con altitud entre 17 y 917 metros. En la selección de los sitios se consideró incluir la mayor variación posible de condiciones ambientales, a manera de obtener una muestra representativa de la diversidad de clima, suelo y topografía en que se cultiva el Palo Blanco. La ubicación geográfica de los sitios muestreados se presenta en la Figura 1, las principales características de los suelos de las plantaciones por sitio se resumen en la Tabla 1.

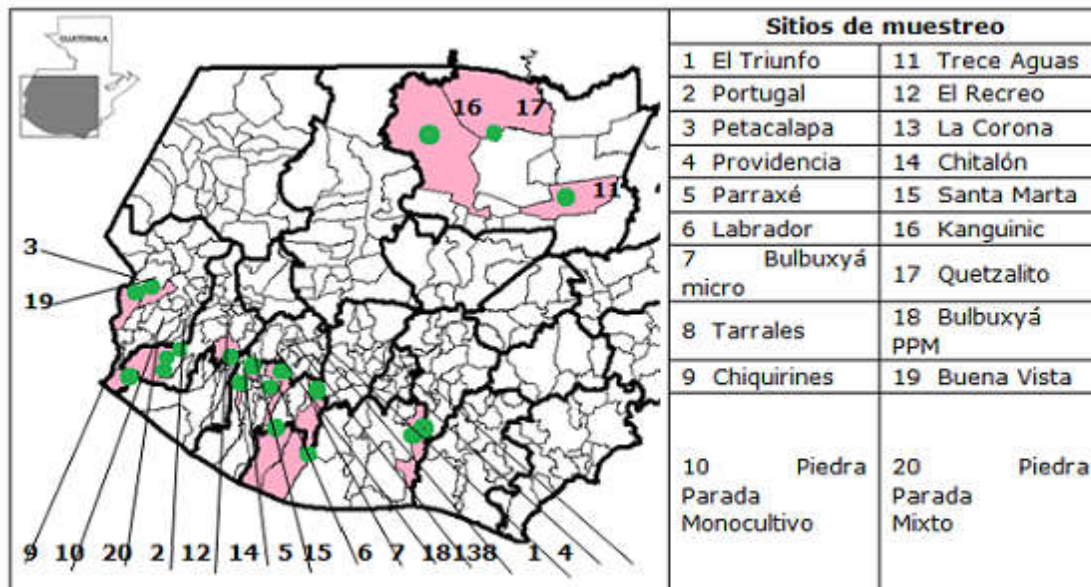


Fig. 1. Ubicación de los sitios muestreados.

Tabla 1. Pendiente (%), orden taxonómico y clase textural de suelos por sitio evaluado.

Sitio	Código	Pendiente %	Orden de suelos	Clase textural
El Triunfo	1	45	Ultisoles	Franco
Portugal	2	10	Andisoles	Franco-arcillo-arenoso
Petalcalapa	3	15	Andisoles	Franco-arenoso
Providencia	4	10	Entisoles	Franco
Parraxe	5	7	Entisoles	Franco-arenoso
Labrador	6	20	Inceptisoles	Franco-arenoso
Bulbuxya micro	7	27	Entisoles	Franco
Tarrales	8	20	Inceptisoles	Franco-arenoso
Chiquirines	9	2	Vertisoles	Franco-arenoso
Piedra Parada monocultivo	10	9	Ultisoles	Franco-arcillo-arenoso
Hidro 13 Aguas	11	10	Entisoles	Franco-arenoso
Hidro El Recreo	12	8	Andisoles	Franco-arenoso
La Corona	13	15	Andisoles	Franco-arenoso
Chitalon	14	4	Inceptisoles	Franco
Santa Marta	15	15	Inceptisoles	Franco-arenoso
Kanguinic	16	15	Mollisoles	Arcillo-arenoso
Quetzalito	17	15	Entisoles	Arcilloso
Bulbuxya PPM	18	4	Entisoles	Franco-arenoso
Buena Vista	19	55	Andisoles	Franco-arenoso
Piedra Parada Mixto PPM3	20	9	Ultisoles	Franco-arcilloso

Fuente: Guatemala MAGA (2000).

Caracterización y muestreo de sitios

Se recurrió al Sistema Holdridge de zonas de vida (De La Cruz, 1982) para definir la región bioclimática de cada sitio muestreado; este sistema aun cuando no es un método para clasificar climas, ni tampoco para clasificar tipos de vegetación, permite establecer la relación entre clima y vegetación natural. Por otro lado, para evaluar las condiciones del suelo, en cada parcela, de forma aleatoria se colectó una muestra compuesta de suelo en el

estrato superficial (0-30 cm de profundidad).

Las muestras compuestas fueron analizadas en el Laboratorio de Suelo, Agua y Planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala. Se evaluó acidez(pH) por el método potenciométrico con relación suelo: agua 2.5:1; Fósforo (P) disponible extraído por Mehlich I y determinado por colorimetría; Cobre (Cu), Zinc (Zn), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) extraídos por el método Mehlich I y determinados por

absorción atómica; Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) por saturación en cloruro de sodio 1N; Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na) y Potasio (K) extraídos con acetato de amonio y determinados por espectrometría de absorción atómica con excepción de Potasio (K) intercambiable que fue determinado por emisión de llama; Saturación de bases (SB) por fórmula Sumatoria (Ca, Mg, Na y K/CIC) \times 100; Materia orgánica (M.O.) por el método Walkley-Black por oxidación húmeda con dicromato de potasio; Nitrógeno (N) total por Kjeldahl; porcentaje de arcilla, limo y arena por Bouyoucos (Diaz-Romeu, 1978; Schweizer et al., 1980). Adicionalmente se determinó la pendiente de los sitios usando clinómetro y se estableció la edad de las plantaciones con base a registro de la fecha de establecimiento proporcionados por los responsables de cada plantación en campo.

Evaluación del crecimiento

El incremento medio anual (IMA) para la altura dominante se definió como la variable respuesta para comparar el crecimiento de las plantaciones entre los distintos sitios evaluados. La altura dominante, cuando la edad es conocida, es una expresión del desarrollo de especies forestales creciendo en rodales puros; la altura dominante se define como el promedio proporcional de altura de los 100 árboles mejor desarrollados por hectárea, siendo esta una variable no afectada por la densidad del rodal (Avery y Burkhart, 2002), lo que permite su uso para comparar el desarrollo de una especie al ser cultivada bajo diferentes condiciones ambientales y de manejo. Considerando que la rotación típica para plantaciones con *Tabebuia donnell-smithii* debiera estar entre 30 y 40 años, y que el grueso de las plantaciones evaluadas en este trabajo presentaba una edad inferior a los 15 años, calificar la productividad de las plantaciones en función de la altura dominante es válido y permite correlacionar la productividad con los factores ambientales. El crecimiento en diámetro no fue

considerado debido a su alta correlación con factores de manejo de la densidad de rodal, lo cual es muy variable y no está documentado para el presente estudio. La unidad de muestreo consistió en una parcela de superficie fija de 500 m², de forma circular, en la cual se midió el diámetro a la altura del pecho, DAP (1.30 metros sobre el suelo, medido en el punto más alto de la pendiente) y la altura total del árbol. El DAP se midió con cinta diamétrica y la altura con hipsómetro Suunto y cinta métrica para la distancia entre el observador y el árbol. Para calcular la altura dominante, se promedió la altura de los dos árboles más altos y mejor desarrollados del rodal.

Análisis estadístico

Con los resultados del análisis físico-químico de suelos y los datos de crecimiento, se realizó un análisis estadístico multivariado con el software XLSTAT (XLSTAT, 2015 version 6.03). Se aplicó el método de componentes principales, lo que permitió identificar las variables de sitio que influyen en mayor medida en la variabilidad edáfica, posteriormente empleando prueba de Pearson se determinó la asociación entre variables edáficas y crecimiento arbóreo. Finalmente, por clusterización aglomerativa jerárquica se calificó a los sitios en relación al crecimiento arbóreo.

RESULTADOS

Caracterización y muestreo de sitios

Al ubicar los puntos de muestreo en el mapa de zonas de vida vegetal de acuerdo al Sistema Holdridge (De la Cruz, 1982), 19 de los 20 sitios evaluados en este trabajo se ubican en la zona de vida Bosque muy húmedo subtropical (cálido), y solamente uno de los sitios (Chiquirines) se encuentra en la zona de vida Bosque húmedo subtropical cálido. Cabe resaltar que la zona de vida donde se ubican la mayoría de sitios, ocupa el 37% del territorio de Guatemala, constituyendo la más extensa de las 14 zonas ecológicas reportadas por este sistema

para el país, abarcando buena parte de la superficie de las Tierras Bajas del territorio en las vertientes del Pacífico y Atlántico. De la Cruz, 1982, menciona algunas especies como «indicadoras» de cada zona de vida, reportándose junto a otras especies, *Cybistax donnell-smithii* (sinónimo de *Tabebuia donnell-smithii*) como una de las especies arbóreas representativas de esta formación forestal en la Zona Sur de Guatemala. En síntesis, se puede afirmar que la

condición climática en la cual se ubican las plantaciones evaluadas, corresponde a la zona de distribución natural de la especie, pudiendo definirse este como el primer aspecto de la condición de sitio y a partir de allí se pueden establecer diferencias con base en factores locales del sitio, entre otras: fisiografía, drenaje, exposición, características físico y químicas del suelo. Los resultados del análisis de suelos, se sintetizan en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis físico-químico de suelos y edad de plantaciones muestreadas.

Sitio	pH	P	Cu	Zn	Fe	Mn	CIC	Ca	Mg	Na	K	SB	M.O.	N	Arcilla	Limo	Arena	Edad	IMA
		ppm						Meq/100g de suelo						%			años	dom	
1	5,60	1,10	0,50	2,00	0,10	18,00	24,72	19,96	3,91	0,23	1,85	100,00	10,65	0,68	17,72	32,84	49,44	13	1.22
2	4,50	19,13	8,50	3,00	13,50	41,50	11,12	5,49	1,07	0,28	0,79	68,60	4,29	0,29	21,92	22,34	55,54	6	2.21
3	4,80	14,16	1,00	1,50	2,50	15,50	9,89	5,74	0,74	0,20	0,30	70,60	7,96	0,48	13,52	30,74	55,74	12	1.68
4	5,50	1,93	0,50	4,00	8,50	20,50	26,78	10,23	2,75	0,26	1,08	53,48	6,72	0,40	15,62	34,94	49,44	5	1.65
5	5,80	0,97	1,00	3,50	0,50	9,50	33,78	12,72	3,62	0,19	1,44	53,19	8,85	0,68	7,22	26,54	33,24	12	1.65
6	5,70	2,97	2,50	4,50	37,50	29,00	10,30	5,74	2,30	0,14	1,03	89,38	3,65	0,32	11,42	22,34	66,24	6	2.37
7	5,30	1,13	1,50	3,00	14,50	23,00	19,78	6,99	1,64	0,30	0,79	49,16	4,15	0,34	26,12	28,64	45,24	9	2.09
8	5,40	1,20	0,10	8,00	2,50	7,00	34,61	9,73	1,48	0,22	0,30	33,90	11,93	0,82	9,32	20,24	70,44	9	2.08
9	6,20	10,30	1,00	4,50	11,50	19,50	10,71	6,74	1,73	0,30	0,44	85,92	1,42	0,18	13,52	30,74	55,74	5	2.46
10	5,10	11,74	4,00	3,00	16,00	37,50	16,07	7,73	3,33	0,18	1,51	79,42	4,51	0,38	30,32	20,24	49,44	11	1.45
11	5,30	0,65	5,50	5,25	2,00	16,00	25,54	6,99	3,91	0,19	0,25	44,37	7,31	0,65	11,42	24,44	64,14	8,75	1.9
12	5,30	8,00	2,50	1,50	15,00	21,00	12,77	3,24	0,62	0,17	0,28	33,79	3,81	0,28	11,42	32,84	55,74	5,5	2.6
13	5,30	3,12	1,00	2,00	10,50	26,00	19,36	6,24	0,99	0,17	0,31	39,80	7,68	0,52	9,32	28,64	62,04	11	1.14
14	5,30	3,22	1,75	7,00	10,50	32,00	25,54	4,49	1,07	0,19	1,00	26,43	4,71	0,37	17,72	34,94	47,34	13	1.39
15	5,40	2,02	0,50	4,00	13,50	18,00	24,31	7,98	1,44	0,21	1,31	45,00	5,94	0,44	11,42	32,84	55,74	11	1.52
16	4,10	0,84	1,00	1,50	6,90	37,50	22,66	3,99	0,95	0,22	0,31	24,13	7,90	0,61	42,92	16,04	41,04	9.3	1.37
17	4,40	0,89	1,00	2,00	28,50	20,00	37,08	2,25	0,58	0,14	0,28	8,73	4,26	0,38	61,82	20,24	17,94	15	1.05
18	5,20	25,03	1,50	2,50	32,50	20,00	15,24	3,74	0,90	0,28	0,31	34,33	2,69	0,22	13,52	30,74	55,74	9	1.9
19	4,60	27,69	6,50	1,50	15,50	15,00	11,12	1,50	0,45	0,18	0,41	22,85	3,88	0,16	11,42	18,14	70,44	7	1.9
20	5,00	4,44	5,50	9,50	18,00	27,50	15,66	3,99	1,36	0,19	0,67	39,65	3,92	0,14	38,72	20,24	41,04	11	1.92
Mínimo	4,1	0,65	0,1	1,5	0,1	7	9,89	1,5	0,45	0,14	0,25	8,73	1,42	0,14	7,22	16,04	17,94	5	1.05
Máximo	6,2	27,69	8,5	9,5	37,5	41,5	37,08	19,96	3,91	0,3	1,85	100	11,93	0,82	61,82	34,94	70,44	15	2,6
Media	5,19	7,02	2,36	3,68	13	22,7	20,35	6,77	1,74	0,21	0,73	50,13	5,81	0,41	19,82	26,43	52,08	9,42	1,77
Er Std	0,11	1,88	0,53	0,51	2,29	2,05	1,91	0,92	0,26	0,01	0,11	5,54	0,61	0,04	3,11	1,35	2,83	0,66	0,098

El análisis de componentes principales permite explicar la variabilidad edáfica, reduciéndola a dos factores (F1 y F2) que en conjunto representan el 71.44% de la variabilidad total. El F1 incluye Materia orgánica, Nitrógeno total y Ca, mientras el F2 incluye Zn y % arcilla,

como se muestra en la Figura 2. Debido a que existe una alta correlación entre materia orgánica y Nitrógeno total (Pearson 0.93 con significancia 5%), se realizó el análisis de clusterización solamente con materia orgánica, Ca, Zn y % de arcilla.

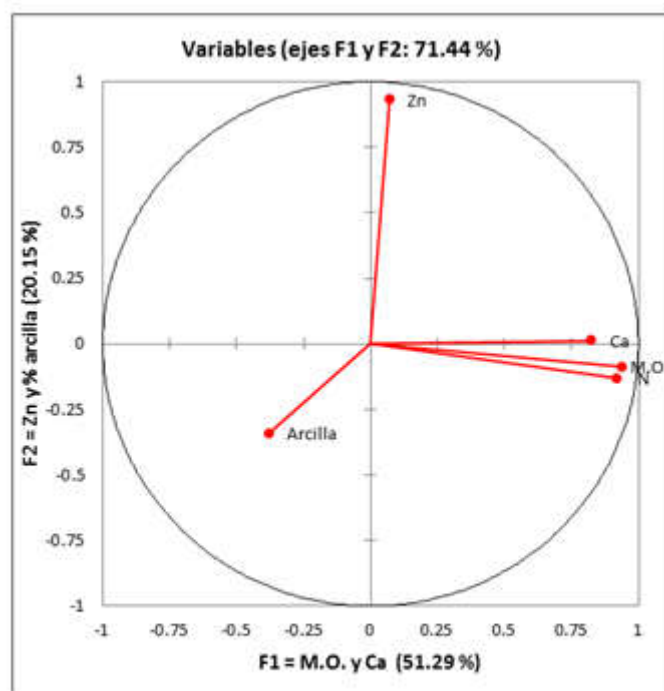


Fig. 2. Análisis de componentes principales de la variabilidad edáfica.

Evaluación del crecimiento

El agrupamiento de los sitios evaluados con base en el resultado de la clusterización aglomerativa jerárquica, se muestra en Tabla 3. Los sitios fueron agrupados en cuatro clases o categorías de sitio con base en su homogeneidad edáfica, en términos de Ca, materia orgánica, arcilla y zinc. Los valores mostrados para las variables respuesta

son promedios, con valores extremos entre paréntesis, para cada clase se sintetizó las variables de la caracterización físico ambiental y se obtuvo el incremento medio anual en altura dominante del conjunto de plantaciones que corresponden a cada clase.

Tabla 3. Agrupamiento de sitios plantados con *Tabebuia donnell-smithii* en función de componentes principales de factores del suelo.

Grupo	Localidades	Ca	M.O.	Arcilla	Zn	Edad años	IMA H dom. m. año ⁻¹
1	3, 4, 5, 6, 8, 9, 11, 12, 13, 15, 18, 19.	6,72 (1,50-12,72)	5,99 (1,42-12,63)	11,60 (7,22-15,62)	3,56 (1,50-5,25)	8,44 (5-12)	1,91 (1,14-2,46)
2	1, 2, 7, 10, 14	8,93 (4,49-19,96)	5,66 (4,15-10,65)	22,76 (17,72-30,32)	3,60 (2-7)	10,4 (6-13)	1,67 (1,22-2,21)
3	16, 20	3,99	5,91 (3,92-7,9)	40,82 (38,72-42,92)	5,5 (1,5-9,5)	10,15 (9,3-11)	1,65 (1,37-1,92)
4	17	2,25	4,26	61,82	2	15	1,05

DISCUSIÓN

Debido a la limitada información meteorológica disponible en Guatemala, el uso del Sistema Holdridge de Zonas de Vida vegetal para clasificar sitios con base a condiciones climáticas, permitió establecer que con excepción de un sitio, todas las plantaciones evaluadas se ubican en la zona bioclimática de Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido), tanto en la Zona Sur como Norte de Guatemala; para la Zona Sur *Tabebuia donnell-smithii* es una especie indicadora nativa de la Zona de Vida, no así para la Zona Norte, en donde se puede considerar como exótica aunque la condición climática con abundante precipitación y estación seca corta, favorece su desarrollo. Publicaciones recientes de diferentes autores sobre investigaciones de especies nativas en el trópico han reportado la influencia de factores de clima y suelo, así como anatómicos en la adaptación y desarrollo de algunas especies: Thai Hung *et al.*, (2016) evaluaron productividad de plantaciones híbridas de Acacia en Vietnam, reportando que el crecimiento es fuertemente afectado por déficit de humedad en suelo y que la fertilidad en el suelo fue bien predicha al relacionarla con el C orgánico y los cationes base Ca y K.

El crecimiento también pudiera estar afectado por la compactación del suelo (densidad aparente) como se indica en el trabajo de Hattori *et al.*, 2013. Por otro lado, además de la fertilidad y humedad del suelo, las propiedades anatómicas y la estructura foliar de la especie puede contribuir también a explicar la respuesta en crecimiento, particularmente en sitios secos (Hoerber *et al.*, 2014), donde el estrés hídrico es más marcado. Existen algunos factores físicos que no fueron evaluados en este trabajo y que se ha observado que pueden incidir en la adaptación de la especie, tal el caso de condiciones de suelo anegados, como lo reportaron Manson *et al.* (2013) en Australia.

Estos autores también refieren que del análisis de componentes principales (de

una muestra de 8 sitios con plantaciones de *Tabebuia donnell-smithii*), en la ZonaNor-oriental del país, se encontró que los factores edáficos que explicaron la variabilidad de sitio, en el Factor 1, con 74.24 % de la variabilidad, fueron pH, C.E., Ca y CIC, y en el Factor 2, con 12.11% fueron el K y el Cu, siendo el Ca el único elemento en común con el presente análisis. Por lo anterior, la calificación de los sitios para fines de plantación con *Tabebuia donnell-smithii* permite a los productores aumentar la posibilidad de éxito con el cultivo de esta especie nativa de alto valor comercial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AVERY, Thomas Eugene y BURKHART, Harold. Forest measurements. 5ta. ed. United States of America: McGraw-Hill, 2002. p. 55-69. ISBN: 1478629088.
- BARE, Matthew C., ASHTON, Mark S. Growth of native tree species planted in montane reforestation projects in the Colombian and Ecuadorian Andes differs among site and species. *New Forests*, (47) 333-355, 2016. ISSN: 0169-4286.
- CAMACHO, Manuel, ALVARADO, Alfredo y Fernandez-Moya, Jesús. *Vochysia guatemalensis* Donn. Smith, an alternative species for reforestation on acid tropical soils. *New Forests* [en línea]. pp. 1-16. [fecha de publicación: 05 de marzo 2016]. Disponible en: <http://link.springer.com/article/10.1007/s11056-016-9527-7>. ISSN: 1573-5095
- CORDERO, J., ed. y BOSCHER, D., [ed.]. Descripción de especies de árboles nativos de América Central. Árboles de Centroamérica. Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2003. p. 915-916. ISBN: 0850741610.
- DE LA CRUZ, Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 1982. 42 p.

- Díaz-Romeu Roberto y Hunter, Arvel. Metodología de muestreo de suelos, análisis químico de suelos y tejido vegetal e investigación en invernadero. Turrialba, Costa Rica:CATIE, 1978.
- GERONAZZO MARTINS, Kelly[et al.]. Effects of soil conditions on the diversity of tropical forests across a successional gradient. *Forest Ecology and Management*(**349**): 4-11, 2015. ISSN 0378-1127.
- GONG, Xia [et al.]. Sub-tropic degraded red soil restoration: Is soil organic carbon build-up limited by nutrients supply. *Forest Ecology and Management*.(**300**): 77-87, 2013. ISSN 0378-1127.
- GUATEMALA, Instituto Nacional de Bosques INAB-, Programa de Incentivos Forestales [en línea]. [fecha de consulta: 20 de febrero 2016]. Disponible en <http://www.inab.gob.gt>
- GUATEMALA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación MAGA-.Mapa de clasificación taxonómica de los suelos de Guatemala según Sistema USDA. Escala 1:250,000. Guatemala, 2000.
- HALL, Jefferson S. [et al.]. The ecology and ecosystem services of native trees: Implications for reforestation and land restoration in Mesoamerica. *Forest Ecology and Management*.(**261**): 1553-1557, 2011.ISSN0378-1127.
- HATTORI, Daisuke [et al.]. Effects of soil compactation on the growth and mortality of planted dipterocarp seedlings in a logged-over tropical rainforest in Sarawak, Malaysia. *Forest Ecology and Management*. (**310**): 770-776, 2013.ISSN 0378-1127.
- HOEBER, Stefanie [et al.]. The importance of hydraulic conductivity and wood density to growth performance in eight tree species from a tropical semi-dry climate. *Forest Ecology and Management*. (**330**):126-136, 2014.ISSN 0378-1127.
- HUNG, Thai [et al.]. Predicting productivity of Acacia hybrid plantations for a range of climates and soils in Vietnam. *Forest Ecology and Management*. (**367**): 97-111, 2016.ISSN 0378-1127.
- MANSON, Daniel G. [et al.]. Species-site matching in mixed species plantations of native trees in tropical Australia. *Agroforestry Systems*. (87): 233-250, 2013. ISSN0167-4366
- MONTAGNINI, Florencia y JORDAN, Carl.Tropical Forest Ecology:The Basis for Conservation and Management. *Berlin Heidelberg: Springer-Verlag*, 2005.299 p.ISSN 1614-9785.
- MONTAGNINI, Florencia y PIOTTO, Daniel. Mixed Plantations of Native Trees on Abandoned Pastures: Restoring Productivity, Ecosystem Properties and Services on a Humid Tropical Site. En: GUNTER, Sven [et al.] ed.Silviculture in the Tropics. *Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag*, 2011. p.501-511. ISBN: 9783642199851.
- ONYEKWELU, Jonathan,STIMM, Bernd yEVANS, Julian. Plantation Forestry Review.En: GUNTER, Sven [et al.] ed. Silviculture in the Tropics.*Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag*, 2011.p. 399-454. ISBN: 9783642199851.
- PRYDE,Elizabeth C. [et al.] Conservation of tropical forest tree species in a native timber plantation landscape. *Forest Ecology and Management*.(**339**): 96-104, 2015.ISSN 0378-1127.
- Schweizer, Susana; Coward Héctor y Vásquez, Alexis. Metodologías para análisis de suelos, plantas y aguas. Boletín técnico #68. 1ª Edición. San José, Costa Rica, 1980.
- STANDLEY, P., WILLIAMS, L., NASH GIBSON, D. Flora of Guatemala. Chicago:Field Museum of Natural History, 1974.Vol. 24, Part X, Numbers 3 and 4.
- United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service.Keys to Soil Taxonomy. 10ma ed. Washington, D.C. 2006. 341 p.
- VANEGAS, Eddi yMENDEZ, Boris.Evaluación del efecto del sitio y aplicación de prácticas silviculturales en el crecimiento de rodales y calidad de la madera proveniente de plantaciones de Palo Blanco

(*Roseodendron donnell-smithii*) y Matilisqueate (*Tabebuia rosea*) en Guatemala. Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONCYT-, 2011. Proyecto FODECYT 015-2008.110 p.

- XLSTAT. XLSTAT software. [en línea]. Versión 6.03.2015.[fecha de consulta: 10 de diciembre 2015]. Disponible en: <https://www.xlstat.com/es/>

Recibido: 4 de julio de 2016.

Aprobado: 23 de diciembre de 2016.

Boris Augusto Méndez Paiz. Maestro en Ciencias Forestales. Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala. Oficina A4, Edificio T-8, Ciudad Universitaria, Zona 12, Ciudad Guatemala. Correo electrónico: bmpaiz@yahoo.com