

Aplicación del índice de calidad de suelos en plantaciones forestales de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) y Matiliguatate (*Tabebuia rosea* Bertol) en Guatemala

Eddi A. Vanegas-Chacón*, Boris A. Méndez-Paiz

Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala

*Autor al que se dirige la correspondencia: vanegaseddi@gmail.com

Recibido: 31 de enero 2016 / Revisión: 24 de abril 2016 / Aceptado: 30 de mayo 2015 / Disponible en línea: 01 de agosto 2016

Resumen

El desarrollo forestal y el manejo sostenible de los ecosistemas forestales se fundamentan en la forestación, propiciada por la Ley de Fomento al Establecimiento, Recuperación, Restauración, Producción y Protección de Bosques en Guatemala, Probosques. Por lo que reviste importancia el conocimiento de las características edáficas de sitio que garanticen el establecimiento y desarrollo de las plantaciones forestales. Esta investigación presenta una aplicación del índice de calidad de suelos forestales (SQI) desarrollado por el Departamento de Agricultura y Servicio Forestal de los Estados Unidos de América, para calificar sitios forestales con base en propiedades fisicoquímicas de los suelos. Se evaluaron 22 sitios forestales ubicados tanto en la parte norte como sur del país, con plantaciones jóvenes de palo blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) y matiliguatate (*Tabebuia rosea* Bertol). Los sitios fueron categorizados en clase I (SQI = 90%); clase II (SQI = 75%); clase III (SQI = 70%); clase IV (SQI = 65%) y clase V (SQI = 55%), lo anterior con objeto de describir condiciones edáficas de sitio, que contribuyan al éxito del establecimiento de plantaciones forestales en el país. Se concluye que el SQI es una herramienta práctica que permitió agrupar sitios en términos edafológicos, lo que puede utilizarse con múltiples fines para optimizar la productividad de las tierras forestales en el país.

Palabras claves: Uso de tierras forestales; suelos forestales; propiedades fisicoquímicas del suelo

Abstract

Forestry development and sustainable management of forest ecosystems are based on forestry, organized by the Law for the Promotion of Establishment, Recovery, Restoration, Production and Protection of Forests in Guatemala, called Probosques. Therefore, it is important to generate knowledge of edaphic site features, that ensure the establishment and growth of forest plantations. This research presents an application of the Soil Forest Quality Index (SQI) developed by the Department of Agriculture and Forest Service of the United States of America, to qualify forest sites based on physico-chemical soil properties. Twenty-two forest sites located on both the north and south of the country, with young plantations of white wood (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) and Matiliguatate (*Tabebuia rosea* Bertol) were evaluated. The sites were categorized into Class I (SQI = 90%); Class II (SQI = 75%); Class III (SQI = 70%); Class IV (SQI = 65%) and Class V (SQI = 55%), the above in order to describe edaphic site conditions that contribute to the successful establishment of forest plantations in the country. It is concluded that the SQI is a practical tool that allowed group sites in pedological terms, which can be used for multiple purposes to optimize productivity of forest land in the country.

Keywords: Forest land use; forest soils; soil physicochemical properties



Introducción

Los suelos forestales, descritos como aquellos que sustentan masas boscosas naturales o plantadas con fines productivos o de conservación (Fisher, Fox, Harrison, & Terry, 2005), son ecosistemas de alta diversidad que requieren un manejo cuidadoso para garantizar su sostenibilidad, por su importancia en la conservación de suelos y recarga hídrica (Neary, Ice, & Jackson, 2009), así como, por los retos que conlleva la adaptación al cambio climático (Guariguata, 2009; Lal, 2004). Las características fisicoquímicas y biológicas que definen la calidad de los suelos, tanto en el área de los cultivos agrícolas (Doran & Parkin, 1996; García, Ramírez, & Sánchez, 2012), como en la producción forestal, agroforestal y silvopastoril (Moffat, 2003; Sánchez et al., 2011; Schoenholtz, Van Miegroetb, & Burger, 2000) son la densidad aparente, profundidad, textura, pH, materia orgánica, nitrógeno total, cationes intercambiables, micro y macro organismos del suelo. De esta manera, la evaluación de la calidad de los suelos agrícolas o forestales de forma cronológica, proporciona información sobre la sostenibilidad de la actividad productiva en las tierras rurales (Shukla, Lal, & Ebinger 2006). Aun cuando en Guatemala no existen indicadores locales que expliquen la calidad de los suelos con múltiples fines de uso y manejo, los estudios semidetallados de suelos y capacidad de uso de las tierras desarrollados recientemente en el país, por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, el Instituto Geográfico Agustín Codazzi de Colombia (2010, 2013) y el Instituto Nacional de Bosques (Inab) en el 2000 indicaron como propiedades fisicoquímicas de calificación: la pendiente, profundidad, pedregosidad, drenaje, pH, clase textural, macronutrientes, materia orgánica, mineralogía y criterios taxonómicos. La Universidad Rafael Landívar, a través del Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (2012) enfatiza que la vocación de las tierras en el país es agrícola entre 33 y 37%, forestal entre 63 y 67%, y un 5% exclusivamente para protección. Sin embargo, las presiones sociales sobre el acceso a las tierras rurales e incremento de los cambios de uso de la tierra con múltiples fines (Díaz, 2015; Hurtado, 2014), condujeron año con año a la reducción de las masas boscosas naturales y, a que las reforestaciones con plantaciones, en su mayoría, fueran llevadas a tierras marginales. A nivel nacional, pocos son los estudios que en términos científicos describen la calificación de sitios forestales para especies nativas (Vanegas, 2009; Vanegas & Méndez, 2011; Vela,

2006), por lo que reviste importancia caracterizar sitios en términos edafológicos, para incrementar las posibilidades de éxito en el cultivo de plantaciones forestales, particularmente cuando se trata de especies cuyos requerimientos de sitio son poco conocidos. El objetivo de esta investigación fue evaluar la viabilidad de aplicar el índice de calidad de suelos forestales (SQI), según Amacher, O'Neill y Perry (2007) para calificar sitios en Guatemala con base en propiedades fisicoquímicas de suelos, en plantaciones con palo blanco y matiliguatate ubicadas en diversos sitios en las tierras bajas y húmedas del país.

Materiales y métodos

En cada uno de los 22 sitios forestales, se tomó una muestra compuesta de suelos en forma aleatoria, en el estrato 0-30 cm en plantaciones forestales de palo blanco y matiliguatate, ubicadas tanto en la parte norte como sur del país. Aunque variable, la edad de las plantaciones era menor a 10 años, estas plantaciones fueron establecidas con fondos del Programa de Incentivos Forestales, coordinado por el Inab. La ubicación de las plantaciones por especie forestal, se resume en la Tabla 1. Los análisis de suelos fueron realizados en el Laboratorio de Suelo-Agua-Planta de la Facultad de Agronomía de la Universidad San Carlos de Guatemala, se determinó densidad aparente (D_a) en g/cm^3 por el método del cilindro de volumen conocido; fragmento grueso (%) por tamizado; pH por el método del potenciómetro con relación suelo:agua 1:2.5; carbono orgánico (COS en %) como 0.58 de la materia orgánica, por el método Walkey-Black por oxidación húmeda con dicromato de potasio; nitrógeno total (NT en %) por el método Kjeldahl; calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na) y potasio (K) en mg/Kg; extraídos con acetato de amonio y determinados por espectrometría de absorción atómica; el K intercambiable fue determinado por emisión de llama; porcentaje intercambiable de Na por la ecuación $(Na/CIC)*100$; capacidad de intercambio catiónico (CIC) por saturación en cloruro de sodio 1N, manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) en mg/Kg, extraídos por el método Mehlich I y determinados por absorción atómica; y fósforo (P) disponible en mg/Kg, extraído por Mehlich I y determinado por colorimetría, según guías metodológicas de McKean (1993).

Las propiedades descritas constituyen 14 de las 19 propiedades requeridas por el SQI. Las propiedades no cuantificadas en este estudio fueron: cadmio (Cd),

Tabla 1
Ubicación de las plantaciones por especie forestal, departamento, municipio y zona de vida

No	Especie	Municipio	Departamento	Orden Suelos	Zona de Vida
1	Palo Blanco	Purulhá	Baja Verapaz	Entisol	bmh-S(c)
2	Palo Blanco	San Pedro Carchá	Alta Verapaz	Ultisol	bmh-S(f)
3	Palo Blanco	San Vicente Pacaya	Escuintla	Andisol	bmh-S(c)
4	Palo Blanco	Guanagazapa	Escuintla	Entisol	bmh-S(c)
5	Palo Blanco	Santo Domingo	Suchitépquez	Andisol	bmh-S(c)
6	Palo Blanco	Sayaxché	El Petén	Molisol	bmh-S(c)
7	Palo Blanco	Flores	El Petén	Molisol	bh-S (c)
8	Palo Blanco	San Luis	El Petén	Alfisol	bmh-S(c)
9	Palo Blanco	Raxuhá	Alta Verapaz	Entisol	bmh-S(c)
10	Palo Blanco	Fray Bartolomé	Alta Verapaz	Alfisol	bmh-S(c)
11	Palo Blanco	Livingston	Izabal	Alfisol	bmh-T
12	Matiliguat	Purulhá	Baja Verapaz	Ultisol	bp-MB
13	Matiliguat	Chiquimula	Chiquimula	Entisol	bs-S
14	Matiliguat	Fray Bartolomé	Alta Verapaz	Alfisol	bmh-S(c)
15	Matiliguat	Colomba Costa Cuca	Quetzalteango	Andisol	bmh-MB
16	Matiliguat	Mopán Flores	El Petén	Molisol	bh-S (c)
17	Matiliguat	Poptún	El Petén	Molisol	bmh-S(c)
18	Matiliguat	Santa Ana	El Petén	Entisol	bmh-S(c)
19	Matiliguat	Raxuhá	Alta Verapaz	Entisol	bmh-S(c)
20	Matiliguat	Patulul	Suchitépquez	Andisol	bmh-S(c)
21	Matiliguat	Escuintla	Escuintla	Molisol	bmh-S(c)
22	Matiliguat	El Estor	Izabal	Entisol	bmh-S(c)

Nota. bs-S = Bosque seco subtropical; bmh-S(f) = Bosque muy húmedo subtropical (frío); bmh-S (c) = Bosque muy húmedo subtropical (cálido); bh-S (c) = Bosque húmedo subtropical (cálido); bmh-T = Bosque muy húmedo tropical; bp-MB = Bosque pluvial montano bajo subtropical.

plomo (Pb), níquel (Ni), azufre (S) y aluminio (Al). El SQI se define como:

El SQI asigna valores ordinales 0, 1 y 2; a umbrales del valor de las propiedades fisicoquímicas del suelo. La sumatoria del valor máximo asignado a las

$$SQI(\%) = \frac{\text{Sumatoria de los valores asignados a las propiedades del suelo}}{\text{Total máximo de unidades en función del número de propiedades}} * 100$$

propiedades del suelo, cuando se tienen las 19 propiedades, es 26 unidades, en el caso de esta investigación es 20. Entonces el SQI se expresa como valor porcentual (1 a 100%) de la sumatoria de los valores asignados y el máximo total en función del número de propiedades evaluadas. Es decir, que las propiedades faltantes no contribuyen al índice, sin embargo, se recomienda utilizar la mayor cantidad de las 19 propiedades, para obtener resultados de mayor confiabilidad (Amacher et al., 2007). Por análisis de componentes principales se determinó las propiedades fisicoquímicas que en dos

factores explicaron en más de 75% la asignación porcentual del SQI y finalmente con base en los resultados del SQI se realizó una agrupación jerárquica aglomerativa, para el análisis de la información se utilizó el programa de cómputo XLSTAT 2015.

Resultados

Los resultados del análisis de las muestras de suelos, por especie forestal y sitio se presentan en la **Tabla 2**. Son suelos con densidades aparentes entre 0.88 a 1.08 g/cm³, excepto los sitios de Purulhá con valor promedio de 1.64 g/cm³, en ninguno de los casos se observó compactación. pH en su mayoría neutro (6.5 a 7.5) y ligeramente alcalino en los sitios ubicados en Petén y Las Verapaces (7.7 a 7.9), COS del suelo, moderado, excepto los sitios de Purulhá y Mopán Flores que presentaron valores altos (> 5%). Porcentaje de Na intercambiable bajo, cationes intercambiables moderados y P bajo. Los resultados del SQI, se sintetizan en la **Tabla 3**. Puede observarse que los sitios donde se plantó palo blanco en promedio presentaron menor SQI (71.36%) en relación a aquellos plantadas con matiliguaté (74.54%). Las propiedades fisicoquímicas del suelo que explicaron en más de 75% la asignación porcentual del valor del SQI fueron el pH, el COS, el Ca y el porcentaje de Na intercambiable, **Figura 1**. Los resultados de la clusterización aglomerativa jerárquica

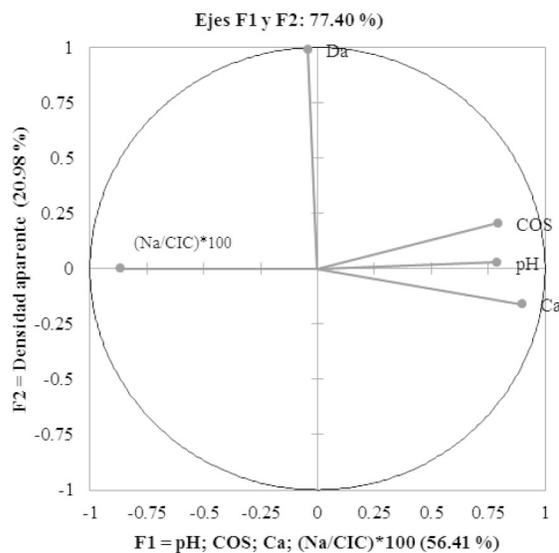


Figura 1. Contribución de las propiedades fisicoquímicas a la asignación del valor porcentual del SQI.

se presentan en la **Tabla 4**, los sitios forestales fueron agrupadas en cinco clases de calidad en función del SQI, Clase I (SQI = 90%); Clase II (SQI = 75%); Clase III (SQI = 70%); Clase IV (SQI = 65%) y Clase V (SQI = 55%).

Discusión

Por su ubicación geográfica, los sitios muestreados pueden agruparse en la parte norte Mopán Flores, San Luis, Santa Ana, Poptún, Sayaxché, Raxhujá, Fray Bartolomé, Purulhá, San Pedro Carchá; en la parte nororiente Livingston y Chiquimula; en la parte sur San Vicente Pacaya, Guanagazapa, Patulul y Santo Domingo; y en la parte sureste Colomba Costa Cuca. Se trata de suelos minerales, no compactados (Alvarado-Hernández & Forsythe-Hudson, 2005; La Manna, 2005). Valores de pH ligeramente ácidos a neutros (Acevedo-Sandoval, Valera-Perez, & Prieto-García, 2010), COS de moderado a alto, nitrógeno total moderado (Martínez, Fuentes, & Acevedo, 2008) porcentaje de Na intercambiable bajo, bases moderadas (Mata-Fernández, Rodríguez-Gamiño, López-Blanco, & Vela-Correa, 2014), Mn, Fe, Cu y Zn, moderados y P bajo (Fernández & Mendoza, 2008). El SQI de los sitios ubicados en el norte del país corresponde a un valor promedio de 72.5%, sin embargo, con variación entre 55 a 90%; en el nororiente 72.5%; sur 74%, con muy poca variación con valores entre 70 y 75%; sureste 55%. La variabilidad de los valores obtenidos en la parte norte, se explica por la condición orográfica y geológica de la región (Aguilar, Aguilar, & Aguilar, 2010). Las propiedades fisicoquímicas del suelo que explican en 77.4%, la asignación porcentual del valor del SQI fueron el pH, COS, Ca y el porcentaje de Na intercambiable (aunque este último parámetro, muy por debajo del valor crítico de 15%), resultados similares fueron reportados por Boussougou, Brais, Tremblay y Gaussiran (2010) quienes determinaron que pérdidas en el contenido del COS y compactación de los suelos (baja porosidad y alta humedad a capacidad de campo) fueron factores que impactaron directamente el crecimiento arbóreo en bosques manejados. La agrupación aglomerativa jerárquica, calificó los sitios forestales en cinco clases descritas a continuación, según los ecosistemas de Guatemala, con base en las Zonas de Vida (Aguilar et al., 2010):

Clase I (SQI = 90%). Ultisoles de bp-MB, suelos húmedos de montaña, típicos de vegetación latifoliada, profundos, bien desarrollados. Mollisoles de bh-S(c) y

bmh-S(c), suelos de sabana, bosques y selva, profundos, bien formados, con altos contenidos de materia orgánica. Regímenes de precipitación bp-MB mayor a los 4 000 mm/año; y bmh-S(c) 2,000 a 4,000 mm/año.

Clase II (SQI = 75%). Andisoles de bmh-S(c), suelos volcánicos, piroclásticos, aluviales y coaluviales, ricos en elementos vítreos, buena retención de humedad y alta fijación de P. Entisoles de bmh-S(c), suelos alu-

viales, poco desarrollados, sin horizonte de diagnóstico. Alfisol de bmh-S(c) y bmh-T, suelos de colina en el norte y desarrollados sobre esquistos en el noroeste, con horizonte de iluviación. Mosilol de bmh-S(c), en este caso combina suelos de la parte norte y Costa Sur del país, profundos, ricos en materia orgánica. Regímenes de precipitación para bmh-S(c) 2,000 a 4,000 mm/año; y bmh-T 4,200 a 5,700 mm/año.

Tabla 2

Análisis de las muestras de suelos, por especie forestal y sitio individual

Sitio	Da g/cc	Fragmento grueso %	pH	COS %	NT %	(Na/ CIC) *100 %	K mg/kg	Mg mg/kg	Ca mg/kg	Mn mg/kg	Fe mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	P mg/kg
Plantaciones de palo blanco														
Purulhá	1.60	<50%	7.6	6.2	0.34	0.86	140.4	1776.0	2694	3.0	0.1	0.1	0.5	2.37
San Pedro Carchá	0.88	<50%	5.5	3.3	0.37	1.61	210.6	236.4	1148	107.5	8.5	1.0	1.5	2.60
San Vicente Pacaya	1.08	<50%	6.2	4.8	0.5	1.08	191.1	138.8	1596	5.0	2.0	0.1	2.5	6.78
Guanagazapa	1.05	<50%	6.1	2.9	0.34	1.04	159.9	350.4	2196	11.0	2.0	0.1	2.0	2.81
Santo Domingo	1.08	<50%	6.1	2.1	0.26	1.66	269.1	212.4	1098	12.5	45.0	1.5	3.5	3.05
Sayaxché	0.9	<50%	7.7	4.0	0.41	0.92	538.2	390.0	10230	10.0	0.1	0.1	0.1	2.83
Flores	0.93	<50%	7.7	6.5	0.78	0.54	768.3	670.8	14222	0.1	0.1	0.1	0.1	1.67
San Luis	0.95	<50%	7.9	2.9	0.36	0.98	510.9	285.6	12974	0.1	0.1	0.5	0.1	0.10
Raxuhá	0.88	<50%	5.5	3.3	0.37	1.61	210.6	236.4	1148	107.5	8.5	1.0	1.5	2.60
Fray Bartolomé	0.97	<50%	5.5	1.5	0.42	1.44	378.3	241.2	1846	52.5	8.0	1.0	1.5	2.03
Livingston	1.00	<50%	5.9	2.2	0.36	2.24	128.7	202.8	1696	18.5	5.0	1.0	1.5	5.90
Plantaciones de matilisguate														
Purulhá	1.67	<50%	5.9	6.62	0.57	0.8	198.9	888	6986	36	2.5	0.5	1	13.93
Chiquimula	1.33	<50%	6.0	1.15	0.23	2.24	288.6	345.6	1546	32.5	9	2	3.5	6.15
Fray Bartolomé	0.97	<50%	5.9	1.51	0.42	1.44	378.3	241.2	1846	52.5	8	1	1.5	2.03
Colomba Costa Cuca	1.21	<50%	5.4	2.31	0.28	3.11	101.4	34.8	300	10.5	15.5	5	1	7.9
Mopán Flores	0.93	<50%	6.3	11.08	0.42	0.69	588.9	1208.4	11726	31	4	0.1	2	6.04
Poptún	1.02	<50%	6.4	5.64	0.53	1.33	191.1	908.4	11726	10	1	0.1	1	2.25
Santa Ana	1.00	<50%	5.0	2.62	0.24	1.58	70.2	79.2	798	9.5	5	0.1	0.1	1.8
Raxhujá	1.33	<50%	6.0	1.15	0.23	2.24	288.6	345.6	1546	32.5	9	2	3.5	6.15
Patulul	1.00	<50%	6.1	2.59	0.23	1.48	280.8	474	1846	28.5	32	1	2	3.73
Escuintla	0.95	<50%	6.1	2.48	0.28	1.85	140.4	487.2	1872	36	132.5	2	1.5	3.5
El Estor	1.05	<50%	5.8	2.51	0.37	1.72	128.7	168	1846	18.5	11.5	1	1.5	3.55

Tabla 3
Aplicación del índice de calidad de suelos forestales, SQI

Sitio	Da	Fragmento grueso	pH	COS	NT	(Na/CIC) *100	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Cu	Zn	P	SQI (%)
Plantaciones de Palo Blanco															
Purulhá	0	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	0	0	70
San Pedro Carchá	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	0	65
San Vicente Pacaya	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75
Guanagazapa	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75
Santo Domingo	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0	70
Sayaxché	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	0	0	70
Flores	1	1	1	2	2	1	2	2	2	0	1	1	0	0	80
San Luis	1	1	1	1	1	1	2	1	2	0	1	1	0	0	65
Raxuhá	1	1	2	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	0	70
Fray Bartolomé	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	70
Livingston	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75
Plantaciones de Matilisguate															
Purulhá	0	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	90
Chiquimula	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0	70
Fray Bartolomé	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75
Colomba Costa Cuca	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	55
Mopán Flores	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	0	90
Poptún	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	0	90
Santa Ana	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	55
Raxhujá	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	0	1	0	70
Patulul	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	0	1	0	75
Escuintla	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	0	1	0	75
El Estor	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	0	75

Clase III (SQI = 70%). Entisol de bs-S, suelos coluviales, asociados a clima seco, subhúmedo, poco desarrollados. Entisol de bmh-S(c), suelos aluviales, poco desarrollados, sin horizonte de diagnóstico. Andisol bmh-S(c), en este caso típico de la costa sur, suelos sobre materiales fluviovolcánicos recientes a elevaciones medias. Molisol bmh-S(c), suelos de sabana. Regí-

menes de precipitación para bs-S 500 a 1,000 mm/año; y bmh-S(c) 2,000 a 4,000 mm/año.

Clase IV (SQI = 65%). Alfisol de bmh-S(c), suelos de la planicie baja de Petén, Ultisol bmh-S(f) suelos transicionales volcánicos-calizos de altitud. Regímenes de precipitación bmh-S(c) y bmh-S(f), ambos con 2,000 a 4,000 mm/año.

Tabla 4
Agrupación aglomerativa jerárquica de la calidad de sitio por SQI

SQI = 90%	SQI = 75%	SQI = 70%	SQI = 65%	SQI = 55%
Purulhá MT	San Vicente Pacaya	Purulha PB	San Pedro Carchá	Colomba Costa Cuca
Mopán Flores	Guanagazapa	Santo Domingo	San Luis	Santa Ana
Poptún	Flores	Sayaxché		
	Livingston	Raxuhá PB		
	Fray Bartolomé MT	Fray Bartolomé PB		
	Patulul	Chiquimula		
	Escuintla	Raxuhá MT		
	El Estor			

Nota. PB = palo blanco; MT = matilisguate

Clase V (SQI = 55%). Entisol de bmh-S(c), suelos de sabana, poco profundos; Andisol de bmh-MB, suelos derivados de cenizas volcánicas. Regímenes de precipitación bmh-S(c) 2,000 a 4,000 mm/año; y bmh-MB 1,000 a 2,000 mm/año.

Se concluye que el SQI es una herramienta práctica que a través del análisis de propiedades fisicoquímicas del suelo, permite calificar sitios en función de su potencial edafológico para contribuir al éxito del establecimiento de plantaciones forestales.

Referencias

- Aguilar, M. A., Aguilar, J. M., & Aguilar, J. A. (2010). *Ecosistemas de Guatemala: Un enfoque por zonas de vida*. Guatemala: Don Bosco.
- Acevedo-Sandoval, O., Valera-Perez, M. A., & Prieto-García, F. (2010). Propiedades físicas, químicas y mineralógicas de suelos forestales en Acaxochitlán, Hidalgo, México. *Universidad y Ciencia*, 26(2), 137-150.
- Alvarado-Hernández, A., & Forsythe-Hudson, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94.
- Amacher, M. C., O'Neil, K. P., & Perry, C. H. (2007). *Soil vital signs: A new Soil Quality Index (SQI) for assessing forest soil health* (Research Paper RMRS-RP-65WWW). Fort Collins, Colorado: United States Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Boussougou, I. N., Brais, S., Tremblay, F., & Gaussiran, S. (2010). Soil quality and tree growth in plantations of forest and agricultural origin. *Soil Science Society of America Journal*, 74 (3), 993-1000. doi:10.2136/sssaj2009.0264.
- Díaz, M. E. (2015). *Evaluación y valoración de tierras rurales en el marco de las políticas agrarias de Guatemala* (Tesis de doctorado). Universidad Nacional de Costa Rica, Universidad Estatal a Distancia, Programa DOCINADE, Guatemala.
- Doran, J. W., & Parkin, T. B. (1996). Quantitative indicators of soil quality: A minimum data set. In J. W. Doran & A. J. Jones (Eds.), *Methods for assessing soil quality* (SSSA Special Publication N° 49). Wisconsin, United States: Soil Science Society of America. doi:10.2136/sssaspepub49.c2
- Fernández, C., & Mendoza, R. (2008). Evaluación del fósforo disponible mediante tres métodos en distintos suelos y manejos productivos. *Ciencia del Suelo*, 26(1), 13-27.
- Fisher, R. F., Fox, T. R., Harrison, R. B., & Terry, T. (2005). Forest soils education and research: Trends, needs, and wild ideas. *Forest Ecology and Management*, 220(1), 1-16. doi:10.1016/j.foreco.2005.08.001
- García, Y., Ramírez, W., & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: Una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.

- Guariguata, M. (2009). El manejo forestal en el contexto de la adaptación al cambio climático. *Revista de Estudios Sociales*, 32, 98-113.
- Instituto Nacional de Bosques. (2000). *Clasificación de tierras por capacidad de uso. Aplicación de una metodología para tierras de la República de Guatemala*. Guatemala: Autor.
- Hurtado, L. (2014). *La histórica disputa de las tierras del valle del Polochic: Estudio sobre la propiedad agraria*. Guatemala: Serviprensa.
- La Manna, L. (2005). Caracterización de los suelos bajo bosque de *Austrocedrus chilensis* a través de un gradiente climático y topográfico en Chubut, Argentina. *Bosque (Valdivia)*, 26(2), 137-153.
- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123(1-2), 1-22. doi:10.1016/j.geoderma.2004.01.032
- Martínez, E., Fuentes, J. P., & Acevedo, E. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal*, 8(1), 68-96.
- Mata-Fernández, I., Rodríguez-Gamiño, M. L., López-Blanco, J., & Vela-Correa, G. H. (2014). Dinámica de la salinidad de los suelos. *e-Bios*, 1(5), 26-35.
- Mckean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías (Documento de Trabajo No. 129). Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2010). *Estudio semi-detallado de los suelos y capacidad de uso de las tierras del departamento de Chimaltenango*. Guatemala: Autor.
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2013). *Estudio semidetallado de los suelos y capacidad de uso de las tierras del departamento de Sololá (Vol. 1)*. Guatemala: Autor.
- Moffat, A. J. (2003). Indicators of soil quality for UK forestry. *Forestry*, 76(5), 547-568. doi: 10.1093/forestry/76.5.547
- Neary, D. G., Ice, G. G., & Jackson, C. R. (2009). Linkages between forest soils and water quality and quantity. *Forest Ecology and Management*, 258, 2269-2281.
- Sánchez, J. I., Rasua, A., Sánchez, D., Wise, C., Sánchez, J. M., Sánchez, M., ... Bidart, B. (2011). Fajas forestales intercaladas en plantaciones anuales: Producción sostenible y reductora del cambio climático. *Centro Agrícola*, 38(4), 75-82.
- Schoenholtz, S. A., Van Miegroetb, H., & Burger, J. (2000). A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: Challenges and opportunities. *Forest Ecology and Management*, 138(1-3), 335-356. doi:10.1016/S0378-1127(00)00423-0
- Shukla, M. K., Lal, R., & Ebinger, M. (2006). Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil Tillage and Research*, 87(2), 194-204. doi:10.1016/j.still.2005.03.011
- Universidad Rafael Landívar e Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente. (2012). *Perfil ambiental de Guatemala (2010-2012): Vulnerabilidad local y creciente construcción de riesgo*. Guatemala: Autor.
- Vanegas, E. (2009). Evaluación nutricional de plantaciones de Palo Blanco (*Tabebuia donnell-smithii* Rose) en finca San Julián, Patulul, Suchitepéquez. *Tikalía*, 28(2), 82-94.
- Vanegas, E., & Méndez, B. (2011). *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 (Tabebuia donnell-smithii Rose) y Matilisqueate (Tabebuia rosea Bertol) en Guatemala*. (FODECYT 015-2011). Guatemala: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía.
- Vela, L. (2006). *Características de sitio que determinan el crecimiento y productividad de Palo Blanco (Tabebuia donnell smithii) en plantaciones forestales de la región forestal IX, Costa Sur de Guatemala* (Tesis de licenciatura). Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Guatemala.