

Determinación de indicadores para calidad de suelos cultivados con cacao en provincia de El Oro-Ecuador

Determination of indicators for quality of soils cultivated with cocoa in the province El Oro-Ecuador

*Salomón Barrezueta-Unda^{1,2}; Antonio Paz González²;
Julio Chabla-Carrillo^{1,2}

¹Universidad Técnica de Machala, Ecuador

²Universidad de A Coruña, España

*sabarrezueta@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Los objetivos de la investigación fueron identificar un Conjunto Mínimo de Datos (CMD) edáficos mediante la aplicación del Análisis de Componentes Principales (ACP) para conformar un Índice de Calidad para Suelos (ICS) y comparar el ICS con los rendimientos del cacao tipo Nacional y CCN51 de baja y alta intervención antrópica, respectivamente. Para lo cual se tomaron 30 muestras de suelo del estrato 0 a 0,30 m en 25 fincas productoras de cacao en la provincia de El Oro, costa sur ecuatoriana, con un clima Tropical Mega térmico, topografía irregular y suelos de órdenes Alfisol, Inceptisol y Entisol. El análisis se realizó a 19 propiedades físicas y químicas del suelo, realizando el ACP con los resultados obtenidos. Los cinco primeros componentes principales (CP) representan el 77,54% de la varianza, seleccionando siete indicadores (CP1 pH, Σ Bases; CP2 C, N; CP3 Cu; CP4 % Arena y PC5 Mg) que conformaron el CMD. Se procedió al cálculo de los coeficientes de puntuación (Cs) a partir del eigevalor (%) por CP para la sumatoria total de la varianza (%), resultados que se multiplicaron por el promedio de cada indicador seleccionado, obteniéndose un ICS para Nacional= 26,41 y para CCN51= 23,26 que corresponde a un suelo de baja calidad sin existir nivel significativo ($p=0,222$). Al comparar con los rendimientos (Nacional=558,606 kg ha⁻¹ año; CCN51=3506,473 kg ha⁻¹ año) se determinó diferencia estadística ($p>0,05$), influyendo el manejo del cultivo sobre los indicadores edáficos.

Palabras clave: Análisis de componentes principales, índice, suelo.

ABSTRACT

The objectives of the investigation were to identify an edaphic Minimum Data Set (MDS) by applying a Principal Components Analysis (PCA) and to elaborate a Soils Quality Index (SQI) and compare it with yields of National and CCN51 cocoa of low and high anthropic intervention respectively. We took 30 soil samples of 0 to 0.30 m stratum. The samples were collected from 25 cocoa farms located in El Oro, south coast of Ecuador. The farms have a megatermic tropical climate, an irregular topography, and soils of Alfisol, Inceptisol and Entisol orders. We performed the ACP to 19 physical-chemical properties of the soil samples. Out the seven selected indicators (PC1 pH, Σ Bases; PC2 C, N; PC3 Cu; PC4 % sand and CP5 Mg) that make up the CMD, the first five principal components (PC) represent the 77, 54% of the variance. Then we calculated the coefficients of the score (Cs) from the eigenvalue (%) by PC by the total sum of the Variance (%). These results were multiplied by the average of each indicator selected, obtaining an SQI of 26,409 for National and 23,264 for CCN51. These values correspond to a soil of low quality without a significant level ($p=0,222$). By comparing between yields (National=558,606 kg ha⁻¹ Year; CCN51=3506, 473 kg ha⁻¹ year), it was determined a statistical difference ($p>0.05$), influencing crop handling on edaphic indicators.

Keywords: principal components analysis, index, soil.

INTRODUCCIÓN

El suelo como medio biofísico que interactúa con el ambiente es afectado por acciones antrópicas, que se reflejan a través de cambios en el paisaje, pérdida de fertilidad, compactación del suelo entre otros factores que limitan su capacidad para el desarrollo de la agricultura (Askari y Holden, 2014; Juhos, Szabó y Ladányi, 2016). Es necesario identificar variables mínimas que ayuden a identificar estos cambios, surgiendo en el último decenio (2000-2010) la conformación de índices de calidad del suelo (ICS), que se constituye en una herramienta para evaluar sistemas agrarios sostenibles (Prieto-Méndez, Prieto-García, Acevedo-Sandoval y Méndez-Marzo, 2013).

El concepto de calidad del suelo fue definido por Doran y Parkin (1994) como la capacidad específica del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o alterado, para sostener la vida, la producción de plantas y animales y como soporte de vivienda (Ghaemi, Astaraei, Emami y Mahalati, 2014).

En este contexto la base para estructurar los

ICS son los indicadores, debido a que resumen o simplifican información relevante de un fenómeno o condición de interés (Rojas, Prause, Sanzano, Arce y Sánchez, 2016); los cuales deben correlacionarse con un gran número de propiedades físicas y químicas del suelo, que sean fáciles de medir y respondan a los cambios en su manejo (de Paul Obade y Lal, 2016).

Con lo expuesto se plantearon los objetivos: a) identificar un CMD edáfico mediante la aplicación del análisis de componentes principales (ACP), b) conformar un ICS para suelos y c) comparar el ICS con los rendimientos del cacao Nacional y CCN51 de baja y alta intervención antrópica respectivamente como proceso de validación del índice.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área en estudio

La investigación se desarrolló en la provincia de El Oro, costa sur ecuatoriana (Figura 1), ubicada entre las coordenadas 3,05°-3,62° de latitud Sur

y 79,55°-80,06° longitud Oeste. El área presenta un clima Tropical Mega térmico (Lozano, 2002) con relieve irregular y suelos de orden Alfisol, Inceptisol y Entisol (Villaseñor, Chabla y Luna, 2015).

El proceso de muestreo fue al azar obteniendo 30 muestras de suelo (Nacional=11; CCN51=19), en el estrato 0 - 0,30 metros (m), por considerar que el mayor porcentaje de masa radicular del cacao y de los elementos disponibles se encuentran en la profundidad descrita (Acosta, Rodríguez, Torres, & Herrera, 2014; Hartemink, 2005).

Tratamiento analítico de las muestras

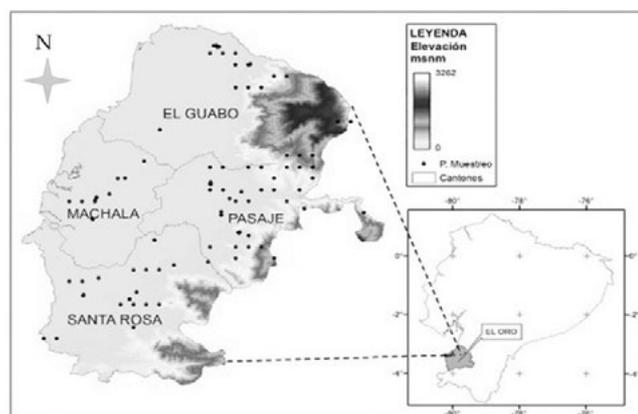


Figura 1. Localización del área en estudio y puntos de muestreo (n=30)

En el laboratorio de suelos de la UTMACH se determinaron los porcentajes de Arena, Limo y Arcilla por el método de Bouyucos modificado por USDA-NRCS (2014); Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) por Acetato de amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$) 1N pH 7 y Conductividad Eléctrica (CE) a partir de pasta satura con agua y lectura en conductímetro.

La determinación de pH con potenciómetro en relación suelo: agua de 1:2,5, Nitrógeno amoniacal (NH_4) por el método de Kjeldhal; Fosforo (P), Potasio (K), Cobre (Cu), Zinc (Zn) y Manganeseo (Mn) se determinaron por Olsen modificado con pH 8.5, Azufre (S) con fosfato de calcio 0,008M; Suma de Bases Cambiables (Σ Bases) con la extracción de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N pH 7 en pasta satura de suelo leída en el espectrofotómetro del laboratorio de Suelos del INIAP Santa Catalina,

Ecuador.

En las instalaciones del SAI de la UDC, España se obtuvieron los resultados del análisis elemental de Carbono (C) y N (N) determinadas en un analizador de marca ThermoFinnigan (FlashEA1112) en condiciones analíticas de: Ta oxidación 1020° C, Ta reducción 650° C, Ta GC 60° C. Columna, Porapak 2 m, Flujo Helio portador 100 mL/min, presión oxígeno 100 Kpa.

Selección de variables

Las variables físico-químicas del suelo (Tabla 1) fueron las utilizadas por Rousseau, Deheuvels, Arias y Somarriba (2012) en un estudio de cacao en Centroamérica para conformar el CMD, tomando en cuenta que las variables seleccionadas son limitantes de la productividad del cultivo en la región.

Análisis estadísticos

Tabla 1. Detalle de variables físico-químicas del suelo

VARIABLE	UNIDAD	VARIABLE	UNIDAD
pH	1:2,5	Manganeseo (Mn++)	ppm
Conductividad eléctrica (CE)	dmhos/cm	Cobre (Cu)	ppm
Carbono elemental (C)	%	Azufre (S)	ppm
Nitrógeno elemental (N)	%	Zinc (Zn++)	meq/100ml
Nitrógeno amoniacal (NH_4)	ppm	Σ Bases	meq/100ml
Relación C/N	%	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	ppm
Fosforo (P)	ppm	Arcilla	%
Potasio (K+)	ppm	Arena	%
Calcio (Ca++)	meq/100ml	Limo	%
Manganeseo (Mg++)	meq/100ml		

Fuente: Rousseau et al (2012)

Se realizó un ACP con todas las variables físico-químicas del suelo para seleccionar los indicadores que conformaran el CMD, explicando el procedimiento al menos un 80% de la variabilidad total de los datos (Bolaños, Tapia, Soto y Filho, 2012; Doukas, Papadopoulou, Savvakis,

Tsoutsos y Psarras, 2012); con lo que se realizó la selección de todos los componentes principales (CP) > 1, con los mayores autovalores y aquellos que la distancia represente el 10% con respecto al valor más alto (Martinez, Galantini, Duval y López, 2015).

Para la eliminación de las variables redundantes del ACP se aplicó la correlación de Pearson a 0,01 y 0,05 marcando los coeficientes de $r \geq 0,6$. Los indicadores seleccionados dentro de un CP que mantuvieron alta correlación entre ellos fueron descartados para evitar redundancia de indicadores al conformar el CMD (Ghaemi et al., 2014; Vasu et al., 2016).

Desarrollo del ICS

Las variables se integraron en la ecuación (1) denominada Índice de calidad normalizada (Normalized quality index-QIN), en función de los coeficientes de puntuación (Cs), valores que se obtienen calculando la variación (%) del total de datos explicado por cada PC, dividiendo por el total (%) de la varianza acumulada (%) explicada de todos los PC con eigenvalores >1, multiplicando por los valores promedios de cada indicador que conforman el CMD (Andrews, Karlen y Mitchell, 2002; Masto, Chhonkar, Singh y Patra, 2007).
 Dónde: QI_N = Índice de calidad normalizada, W_i =

$$QI_N = \left(\sum W_i * C_s \right)$$

indicador seleccionado, C_s = coeficiente de puntuación.

Con el resultado de QIN se clasifica en función de los niveles descritos por Sánchez-Navarro et al., (2015) modificado en la investigación por condiciones de manejo agronómico y de la conformación edáfica del suelo (Tabla 2).

Con los resultados de ICS y la variable ren-

Tabla 2. Niveles de ICS en función de QI_N .

PUNTUACIÓN	NIVELES
$QIN \leq 20$	Muy baja calidad
$20,9 \leq QIN \leq 38,6$	Baja calidad
$38,7 \leq QIN \leq 53,8$	Moderada calidad
$53,9 \leq QIN \leq 61,4$	Alta calidad
$QIN \geq 61,5$	Muy alta calidad

dimiento por tipo de cacao se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con la finalidad de observar diferencias estadísticas entre grupos; realizando las operaciones con el software SPSS versión 22.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de CMD

La estadística descriptiva de las propiedades del suelo (Tabla 3) indica una alta variabilidad de los datos, utilizando el Coeficiente de variación (CV) se observa que solo dos variables (pH y C/N) tienen un $CV \leq 0,15$, relación expresada por las propiedades edáficas de cada sitio y al manejo del cultivo como lo expresan Arshad y Martin (2002); Askari y Holden (2014) y Martinez et al (2015) que al realizar ICS partieron con $CV \geq 0,15$.

Tabla 3. Resumen estadístico de variables físico-químicas del suelo en el sustrato 0 a 0,30 m por unidad de estudio (n=30)

VARIABLES	MEDIA	M Í N I - MO	M Á X I - MO	DS (±)	CV(%)
Arcilla (%)	27,66	9,30	52,60	11,19	0,40
Limo (%)	34,02	14,70	61,40	11,69	0,34
Arena (%)	38,32	16,00	72,00	13,99	0,37
CE (dS/m)	0,15	0,07	0,32	0,06	0,40
CIC (ppm)	30,51	6,60	52,20	12,30	0,40
pH (1:1,2)	6,90	4,86	8,57	0,93	0,13
NH4 (ppm)	25,68	8,30	65,00	14,13	0,55
P (ppm)	34,49	1,00	225,00	55,99	1,62
S (ppm)	12,43	6,40	22,00	4,31	0,35
K (ppm)	0,72	0,02	3,20	0,87	1,21
Ca (meq/100ml)	26,96	5,70	45,80	13,10	0,49
Mg (ppm)	4,10	1,20	13,90	2,35	0,57
Zn (ppm)	7,94	2,90	21,70	4,81	0,61
Cu (ppm)	11,03	2,90	24,50	5,74	0,52
Mn (meq/100ml)	57,42	5,60	139,00	41,02	0,71
∑Bases (meq/100ml)	31,47	7,62	51,20	13,90	0,44
C (%)	1,85	0,49	4,80	1,01	0,55
N (%)	1,85	0,49	4,80	1,01	0,55
C/N (%)	10,56	8,60	12,71	1,00	0,09

Del ACP (Tabla 4) se obtuvo que los primeros

cinco CP explican el 77,354% de la varianza total de los datos originales, seleccionando a los indicadores del CP1 pH (0,923), Σ bases (0,875), CIC (0,868), Ca (0,844) y K (0,843) con eigevalores $\geq 0,840$, los cuales muestran altos coeficientes de correlación entre ellos (Tabla 5), representando la interacción de las Σ bases con el Ca, P, K y Mg y la disponibilidad de nutrientes en función del pH (Moreno, Pirela, Medina, Molina, Polo y Urdaneta, 2013).

El CP2 indica los componentes que forman la materia orgánica del suelo, donde los indicadores C (0,869) y N (0,860) expresan la mayor varianza, estableciendo $r \geq 0,6$ entre CIC, Ca y Σ Bases del CP1.

Del CP3 se seleccionó el Cu (0,821), considerando este indicador junto con el Mg (-0,695) de mayor valor en el CP5 como antagonistas, donde

la condición negativa del Mg ocasiona que cuando aumenta, disminuye el Cu en el suelo (Altieri y Nicholls, 2012); en este sentido se considera que un exceso de Cu en el suelo se debe al uso de fungicidas para el controlar plagas (Aikpokpodion, 2010).

El CP4 con %Arena (-0,938), representa la granulometría del suelo sin correlación significativa con el resto de indicadores seleccionados.

La alta correlación entre variables seleccionadas del CP1 y CP2 refleja que sus indicadores pueden ser redundantes para incluirlos todos en el CMD como lo manifiesta Raiesi y Kabiri (2016); procediendo a seleccionar para CP1 el pH y la Σ Bases y para CP2 el C por su importancia en el ciclo biogeoquímico del ecosistema y N como el elemento de mayor demanda durante su etapa de desarrollo y en la poscosecha del grano de cacao

Tabla 4. Resultado del ACP de variables físico-químicas del suelo en estudio (n=30)

COMPONENTE	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5
Eigevalor	6,671	2,893	2,385	1,64	1,108
Porcentaje varianza (%)	35,11	15,224	12,555	8,634	5,831
Porcentaje acumulada (%)	35,11	50,334	62,889	71,522	77,354
Variables	Eigevector				
Arcilla	-0,216	0,466	-0,567	0,469	-0,072
Limo	0,251	-0,468	0,356	0,674	-0,137
Arena	-0,037	0,018	0,156	-0,938	0,171
CE	0,802	0,104	-0,147	-0,249	0,309
CIC	0,868	0,28	-0,141	-0,002	-0,107
pH	0,923	0,118	0,153	0,018	-0,014
NH ₄	-0,592	0,047	-0,318	-0,157	0,563
P	0,065	-0,046	0,596	-0,153	0,416
S	0,385	0,242	0,034	-0,103	0,618
K	0,843	-0,068	-0,264	-0,096	0,198
Ca	0,844	0,327	0,167	0,186	0,015
Mg	0,03	-0,062	-0,182	0,072	-0,695
Zn	0,039	0,299	0,723	-0,081	0,415
Cu	-0,14	0,036	0,821	0,11	-0,123
Mn	-0,403	-0,306	-0,315	0,317	0,076
Σ Bases	0,875	0,303	0,138	0,179	-0,047
C	0,319	0,869	0,041	-0,104	0,123
N	0,319	0,869	0,041	-0,104	0,123
C/N	0,518	0,522	0,199	0,077	0,21

Los valores subrayados pertenecen a las variables seleccionadas para integrar el CMD

Tabla 5. Matriz de correlación de Pearson

	pH	ΣBASE	N	C	ARENA	Mg	CIC	K	CA
pH	1,00								
ΣBASE	0,846**	1,00							
N	0,27	0,435*	1,00						
C	0,361*	0,508**	0,984**	1,00					
Arena	-0,04	-0,12	0,12	0,12	1,00				
Mg	-0,01	0,02	-0,13	-0,14	-0,22	1,00			
CIC	0,727**	0,863**	0,504**	0,532**	-0,04	0,08	1,00		
K	0,747**	0,620**	0,24	0,26	0,00	-0,02	0,684**	1,00	
Ca	0,825**	0,993**	0,448*	0,524**	-0,10	-0,07	0,837**	0,576**	1,00

*Significancia a 0,05
 ** Significancia a 0,01

(Altieri y Nicholls, 2012; Loureiro et al., 2016). Conformando el CMD por ocho indicadores (pH, Σ Bases, C, N, Cu, % Arena, y Mg).

Establecido el CMD (tabla 6), se procede a calcular el ICS aplicando la ecuación (1) de QIN, donde se reemplazan los valores promedio de cada indicador seleccionado por tipo de cacao (Nacional y CCN51) multiplicando por el Cs. De esta forma los indicadores quedan normalizados, representando el mayor peso CMD, pH y Σ Base.

Los suelos cultivados con CCN51 (3506,473

pendiente a de baja calidad para ambos tipos de cacao.

El CV<0,30 en ICS y CV>0,30 para rendimiento muestran diferencias atribuidas al tipo de manejo del cultivo, y no a las condiciones edáficas, resultados similares obtuvo Villareal-Nuñez, Pla-Sentis, Agudo-Martínez, Villaláz-Peréz, Rosales y Pocasangre (2013), donde el ICS fue influenciado por manejos inadecuado del suelo, mientras en condiciones de poca intervención antrópica como es el caso del tipo Nacional, los valores de calidad del suelo fueron relativamente mejores.

Tabla 6. Selección de indicador por CP para conformar CMD y Coeficiente de puntuación

N° PC	INDICADOR SELECCIONADO	COEFICIENTE DE PUNTAJACIÓN (CS)
PC1	Σ Bases	0,454
	pH	
PC2	C	0,197
	N	
PC3	Cu	0,162
PC4	Arena	0,111
PC5	Magnesio	0,075

$$QI_N = (pH(0,454) + \Sigma Bases(0,454) + C(0,197) + \dots + N(0,197) + Cu(0,162) + \%Arena(0,11) + Mg(0,075))$$

kg ha-1 año) muestran mayor rendimiento que Nacional (558,606 kg ha-1 año) con diferencia estadística p≥0,05 (Tabla 7) pero el ICS entre ambos tipos de cacao no muestra niveles de significancia (p=0,222), con una calificación de QIN para Nacional (26,409) y CCN51 (23,264) corres-

Tabla 7. ANOVA entre tipos de cacao por ICS y rendimiento

VARIABLES		PROMEDIO	DS(±)	CV (%)	SIGNIFICANCIA ENTRE GRUPOS AL 0,05
ICS	Nacional CCN51	26,409 23,264	6,777 6,751	0,257 0,290	0,222
Rendimiento (kg ha-1 año)	Nacional CCN51	558,606 3506,473	432,240 1365,636	0,774 0,389	0,000

CONCLUSIÓN

El ACP redujo el número de variables de 19 a 7 conformando un CMD que representa las condiciones edáficas actuales; el ICS no reflejó diferencias significativas, aunque se observa una ligera

diferencia a favor del tipo Nacional, a pesar de esto es una herramienta para determinar si las condiciones de manejo del suelo son adecuadas y que permite tomar acción con enfoque de sostenibilidad a largo plazo. Se recomienda el uso de ACP para establecer índices aditivos, en zonas homogéneas en relación al clima, pero con diferencias en el manejo del cultivo.

AGRADECIMIENTOS

La investigación es parte del proyecto “Determinación de parámetros mínimos del suelo para integrarlos en índices de sostenibilidad agrarios” auspiciado por la Universidad Técnica de Machala (UTMach), los autores agradecen el apoyo del SAI-Universidade da Coruña (UDC), y a los grupos de investigación de AGUASOL-UDC España y DINTA-UTMach Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, F., Rodríguez, H., Torres, F. & Herrera, L. (2014). Evaluación del conflicto de uso agrícola de las tierras a partir de su aptitud física como contribución a la explotación sostenible. *Cultivos Tropicales*, 35(4), 13-18.
- Aikpokpodion, P. (2010). Assessment of heavy metals pollution in fungicide treated Cocoa plantations in Ondo state, Nigeria. *Journall of Applied Biosciences*, 33, 2037-2046.
- Andrews, S., Karlen, D. & Mitchell, J. (2002). A comparison of soil quality indexing methods for vegetable production systems in Northern California. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90(1), 25-45. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00174-8](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00174-8)
- Arshad, M. A. & Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 153-160. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00252-3](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3)
- Askari, M. S. & Holden, N. M. (2014). Indices for quantitative evaluation of soil quality under grassland management. *Geoderma*, 230-231, 131-142. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.019>
- Bolaños, N., Tapia, A., Soto, G. & Filho, E. (2012). Efecto de diferentes sistemas de manejo sobre la calidad del suelo, en fincas cafetaleras de la zona de Turrialba y Orosi. *InterSedes*, XIII(26), 85-105.
- De Paul Obade, V. & Lal, R. (2016). A standardized soil quality index for diverse field conditions. *Science of The Total Environment*, 541, 424-434. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.09.096>
- Doukas, H., Papadopoulou, A., Savvakis, N., Tsoutsos, T. & Psarras, J. (2012). Assessing energy sustainability of rural communities using Principal Component Analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 1949-1957. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.018>
- Ghaemi, M., Astarai, A. R., Emami, H., Mahalati, M. & Sanaeinejad, S. (2014). Determining soil indicators for soil sustainability assessment using principal component analysis of Astan Quds- east of Mashhad-Iran. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 14(4), 987-1004.
- Hartemink, A. E. (2005). Nutrient stocks, nutrient cycling, and soil changes in cocoa ecosystems: A review. *Advances in Agronomy*, 86, 227-253.
- Juhos, K., Szabó, S. & Ladányi, M. (2016). Explore the influence of soil quality on crop yield using statistically-derived pedological indicators. *Ecological Indicators*, 63, 366-373.
- Loureiro, G., Araujo, Q., Sodr e, G., Valle, R., Souza, J., Ramos, E., ... Grierson, P. (2016). Cacao quality: Highlighting selected attributes. *Food Reviews International*, 9129(April), 1-24. <http://doi.org/10.1080/87559129.2016.1175011>
- Lozano, P. (2002). Los tipos de bosque en el sur del Ecuador. In *Botanica Austroecuatorial. Estudios sobre los recursos vegetales en las provincial de El Oro, Loja y Zamora-Chinchipe* (pp. 29-49). Quito, Ecuador: Abya Yala. Retrieved from <http://rch.retina.ar/ln/hoy118/puyas.pdf>
- Martínez, J., Galantini, J., Duval, M. & López, F. (2015). Indicadores edáficos de la calidad de suelos con trigo bajo siembra directa en el sudoeste bonaerense. *Ciencias Agronómicas*, 26(15), 23-31.
- Masto, R. E., Chhonkar, P. K., Singh, D. & Patra, A.

- K. (2007). Soil quality response to long-term nutrient and crop management on a semi-arid Inceptisol. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 130-142. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.008>
- Moreno, M., Pirela, H., Medina, M., Molina, N., Polo, V. & Urdaneta, M. (2013). Evaluación de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos cultivados con cacao (*Theobroma Cacao* L.) en la Sierra de Perijá. *Revista Luz*, 4(8), 8-28.
- Oldeman, L. R. & Lynden, G. W. J. Van. (1998). *Revisiting the GLASOD Methodology* (3 No. 96). *Methods for Assessment of Soil Degradation*.
- Prieto-Méndez, J., Prieto-García, F., Acevedo-Sandoval, O. & Méndez-Marzo, M. (2013). Indicadores e Índices De Calidad De Los Suelos (Ics). *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 83-91.
- Raiesi, F. & Kabiri, V. (2016). Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. *Ecological Indicators*, 71, 198-207. <http://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.061>
- Rojas, J. M., Prause, J., Sanzano, G. A., Arce, O. E. A. & Sánchez, M. C. (2016). Soil quality indicators selection by mixed models and multivariate techniques in deforested areas for agricultural use in NW of Chaco, Argentina. *Soil and Tillage Research*, 155, 250-262. <http://doi.org/10.1016/j.still.2015.08.010>
- Rousseau, G., Deheuvels, O., Arias, I. & Somarriba, E. (2012). Indicating soil quality in cacao-based agroforestry systems and old-growth forests: The potential of soil macrofauna assemblage. *Ecological Indicators*, 23, 535-543.
- Sánchez-Navarro, A., Gil-Vázquez, J. M., Delgado-Iniesta, M. J., Marín-Sanleandro, P., Blanco-Bernardeau, A. & Ortiz-Silla, R. (2015). Establishing an index and identification of limiting parameters for characterizing soil quality in Mediterranean ecosystems. *CATENA*, 131, 35-45. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.023>
- USDA-NRCS. (2014). Soil survey field and laboratory methods manual. In R. Burt (Ed.), (2.0, pp. 60-69). Lincoln, Nebraska: USDA-NRCS.
- Vasu, D., Singh, S. K., Ray, S. K., Duraisami, V. P., Tiwary, P., Chandran, P., ... Anantwar, S. G. (2016). Soil quality index (SQI) as a tool to evaluate crop productivity in semi-arid Deccan plateau, India. *Geoderma*, 282, 70-79. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.010>
- Villareal-Nuñez, J., Pla-Sentis, L., Agudo-Martínez, L., Villaláz-Peréz, J., Rosales, F. & Poca-sangre, L. (2013). Índice De Calidad Del Suelo En Áreas Cultivadas Con Banano En Panamá. *Agronomía Mesoamericana*, 24(2), 1-16.
- Villaseñor, D., Chabla, J. & Luna, E. (2015). Caracterización física y clasificación taxonómica de algunos suelos dedicados a la actividad agrícola de la provincia del El Oro. *Cumbres*, 1(2), 28-34.