

SELECCIÓN DE GENOTIPOS Y/O ACCESIONES DE CACAO SILVESTRES Y DOMESTICADOS TOLERANTES A LA ACIDEZ DEL SUELO EN EL PERÚ

Arévalo-Gardini, E¹; Farfán-Pinedo, A¹; Tuesta-Pinedo, A¹; Arévalo-Hernández, C¹; Baligar-Virupax, C².

1. Instituto de Cultivos Tropicales, Tarapoto, Perú.

2. Sustainable Perennial Crops Laboratory (USDA-ARS), USA.

Palabras claves: Toxicidad, aluminio, suelo, saturación, estrés, índice, tolerancia.

ABSTRACT

Soil acidity and aluminum toxicity are the most limiting factors of growth and productivity in the world's acidic soils. About 70% of the Peruvian territory is composed of acid soils. With the purpose to select cacao genotypes tolerant to soil acidity, two experiments were established under greenhouse conditions at the experimental stations of the Instituto de Cultivos Tropicales. location in the province and region San Martín, geographical coordinates 06°30'28 "south latitude and 76°00'18" west longitude, 333 m.s.n.m. altitude. For six months, 60 genotypes and / or accessions of domesticated and wild cacao were grown in pots; were subjected to two treatments (Treatment 1: pH = 4.7 with aluminum saturation at 30% and treatment 2: pH = 5.8 with aluminum saturation 0.25%), to evaluate the effects of soil acidity and aluminum saturation on growth, chemical composition and physiological stress. In both treatments, the soil was maintained at field capacity (33 Kpa) around the hydric potential of the plant.

Of the total genotypes studied, 60% are considered tolerant to acid soils, stand out among them: ICS-1, ICS-95 (International collection), CEPEC 2002, BS-01 (Brazilian collection), ICT-2142, ICT-1026 (ICT collection), AYP-22, PAS-91 (wild collection); 33% have medium tolerance, stand out: POUND-12, UF-667 (International collection), PAS-105, PAS-100 (wild collection), ICT-1092 (ICT collection); and 7% of genotypes considered non-tolerant to acid soils: UNG-73, AYP-20, UGU-126 y UNG-76 (wild collection). the results showed that the variables stomatal conductance and total dry biomass are the most important factors in the classification of cacao as tolerant, moderately tolerant and sensitive to soil acidity; these variables are attributes or characteristics of the plants, reliable in the selection of genotypes and/ or accessions of cacao tolerant to soil acidity. From the results obtained, the magnitude of absorption and transport of essential nutrients in the cocoa genotypes are influenced by the level of aluminum toxicity in the growth and the ability of the cacao genotypes to tolerate aluminum toxicity.

RESÚMEN

La acidez del suelo y toxicidad de aluminio son los factores más limitantes del crecimiento y productividad en los suelos ácidos del mundo. Alrededor de 70% del territorio peruano está compuesto por suelos ácidos. Con la finalidad de seleccionar genotipos de cacao tolerantes a acidez del suelo, se establecieron dos ensayos bajo condiciones de vivero en las estaciones experimentales del Instituto de Cultivos Tropicales, ubicado en la provincia y región San Martín, coordenadas geográficas 06°30'28" latitud sur y 76°00'18" longitud oeste, altitud de 333 m.s.n.m. Se cultivaron en macetas 60 genotipos y/o accesiones de cacao domesticados y silvestres, por un periodo de seis meses; siendo sometidas a dos tratamientos (Tratamiento 1: sustrato con pH= 4.7 y saturación de aluminio a 30 % y tratamiento 2: sustrato con pH= 5.8 y saturación de aluminio < 0.25 %), para evaluar los efectos de la acidez de suelo y saturación de aluminio sobre el crecimiento, composición química y estrés fisiológico. En ambos tratamientos se mantuvo el suelo a capacidad de campo (33 Kpa) cercano al potencial hídrico de la planta.

Del total (60) genotipos en estudio el 60% son considerados tolerantes a suelos ácidos, entre ellos destacan ICS-1, ICS-95 (Colección internacional), CEPEC 2002, BS-01(colección Brasil), ICT-2142, ICT-1026 (colección ICT), AYP-22, PAS-91 (colección silvestre), entre otros; el 33% presentan tolerancia media, destacan POUND-12, UF-667 (colección internacional), PAS-105, PAS-100 (colección silvestre), ICT-1092 (colección ICT), entre otros y el 7% de genotipos considerados no tolerantes a suelos ácidos; UNG-73, AYP-20, UGU-126 y UNG-76 (colección silvestre). Los resultados mostraron que las variables conductancia estomática y biomasa seca total son los factores más importantes en la clasificación de cacao como tolerantes, moderadamente tolerantes y sensibles a la acidez del suelo. Por lo tanto, estas variables son cualidades o características de las plantas, confiables en la selección de genotipos y/o accesiones de cacao tolerantes a la acidez del suelo. A partir de los resultados obtenidos, la magnitud de absorción y transporte de nutrientes esenciales en los genotipos de cacao están influenciados por el nivel de toxicidad de aluminio en el crecimiento y la capacidad de los genotipos de cacao para tolerar la toxicidad de aluminio.

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los cultivos perennes más importantes del mundo (Almeida y Valle 2007), es de importancia económica para muchos agricultores que se dedican a este cultivo a tal punto de convertirse en el eje del sistema productivo (Arévalo 2012). Muchos suelos agrícolas del mundo son deficientes en uno o más de los nutrientes esenciales en el crecimiento saludable y productivo de las plantas (Baligar y Fageria, 2001). La mayor parte de suelos ácidos poseen bajas características en sus propiedades físicas y químicas. Los suelos ácidos ocupan cerca de cuatro mil millones de hectáreas de la superficie terrestre libre de hielo en el mundo (Baligar y Fageria, 1997). La acidificación del suelo es una amenaza significativa para los rendimientos de los cultivos en países tales como Australia y en áreas de América del sur, el Sudeste de Asia y el África sub-Sahariana (FAO 2016). El cacao se cultiva en una amplia gama de tipos de suelo y, a menudo estos suelos son lixiviados, ácidos y bajos en P, N, Ca, Mg y otros nutrientes esenciales (Hardy 1960; Smyth 1966; Wood and Lass 2001). En suelos ácidos, la toxicidad de Al y las deficiencias de nutrientes son las principales limitaciones para un bajo rendimiento de cacao (Baligar y Fageria 2005). La mayoría de las plantaciones actuales de cacao dependen del uso de áreas limpias mediante el rozo, tumba y quema del bosque para aprovechar la fertilidad natural, bajo un sistema tradicional (Arévalo et al, 2004). Este sistema tradicional de la tierra pierde muy rápido su productividad debido al deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, además es el sistema que causa mayor deforestación (Alegre et al., 2006). El efecto inicial del estrés por aluminio es la inhibición del crecimiento radicular, además, la acumulación de aluminio indica que la sensibilidad al elemento ocurre en el ápice radicular (Casierra y Aguilar 2007). La saturación de Aluminio en el suelo disminuye la biomasa de brotes y raíces, altura del tallo, longitud de la raíz, la tasa de crecimiento relativo y las tasas de asimilación neta (Baligar y Fageria 2005). Se ha reportado sobre la deficiencia de P, Ca, Mg, Zn y Fe en el cultivo de cacao (Cabala-Rosand et al., 1989; Wilson 1999). El cacao tiene mayores requerimientos de nutrientes que otros cultivos cuando se cultiva en suelos ácidos con poca fertilidad (Cabala-Rosand et al., 1989). La baja absorción de nutrientes por las plantas en suelos ácidos se debe a la presencia de altos niveles de Aluminio e Hidrógeno que interfieren con la absorción de P, K, Mg y Ca, y a la toxicidad aluminio que limita el crecimiento de la raíz (Foy 1984; Fageria y Baligar 2003). El flujo y transporte de nutrientes disminuyen significativamente para K, Ca y Mg, y muestra una tendencia creciente para S y P a medida que la saturación de Aluminio en suelo aumenta (Baligar y Fageria 2005). En los últimos años se ha incrementado las áreas de cacao en el Perú, dado a esta expansión del cultivo en grandes áreas de suelos ácidos con problemas de saturación de aluminio, es de relevante importancia investigar el comportamiento del cacao con relación al problema en cuestión, donde se puede seleccionar germoplasma de cacao tolerantes a saturación de aluminio.

El objetivo de esta investigación es identificar genotipos y/o accesiones de cacao con características de tolerancia a suelos ácidos y ofrecer apoyo en la selección de genotipos a ser cultivadas en regiones con alto porcentaje de saturación de aluminio, producto de factores como el material parental e inadecuado manejo de los suelos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal y condiciones de crecimiento:

Se seleccionó 60 genotipos y/o accesiones de cacao, pertenecientes a las colecciones: Instituto de cultivos tropicales, internacionales, brasileros y silvestres (Tabla 1), el germoplasma fue propagado mediante enraizamiento por estacas en cámara húmeda por 60 días con la finalidad de obtener clones puros de progenitores promisorios en productividad, tolerancia a enfermedades y calidad organoléptica. El experimento se realizó en condiciones de vivero en el Instituto de cultivos tropicales – ICT (06°30'28" S y 76°00'18" O, 333 m.s.n.m.). Se cultivaron tres plántulas por genotipo en macetas por un periodo de seis meses; se dividieron en dos grupos: plántulas del primer grupo (control) en suelo con pH= 5.8 y saturación de aluminio < 0.25 %, y el segundo grupo de plántulas (suelo ácido) con pH= 4.7 y saturación de aluminio a 30 %. En ambos tratamientos se mantuvo el suelo a capacidad de campo -33 Kpa (The model 2725 soil moisture tensiometer, EE. UU). Sólo en el primer grupo (control) se adicionó dolomita en los suelos para incrementar el pH of 4.7 to 5.8; se aplicó fertilizantes a base de nitrógeno, fósforo y potasio para un óptimo crecimiento. Durante el tiempo del experimento se registró la temperatura diurna/nocturna en promedio de 33/25 °C with 78 % HR usando el termho-hidrómetro (Amarell AA-0150 EE.UU), las condiciones de radiación solar fueron de (PPFD) 850 a 900 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Modelo MQ-200 Quantum flux Apogee instruments, EE.UU).

Parámetros de crecimiento y características fisiológicas

Antes del sacrificio de plántulas se midieron, altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), utilizando el vernier digital, número de ramas (NR) y hojas (NH). Después del sacrificio de las plántulas, las raíces fueron removidas del suelo y lavadas; se determinó el área foliar (AF $\text{cm}^2/\text{planta}$) y radicular (AR $\text{cm}^2/\text{planta}$), longitud de raíz (LR cm/planta) usando Assess 2.0 image analysis software). Las raíces, tallos y hojas se lavaron con agua destilada y ácido clorhídrico al 5 %. Las muestras de raíz, tallo + hojas se colocaron en sobres de papel y se secaron en estufa a 75 °C en una circulación de aire forzado para obtener la biomasa seca de raíz (BSR g/planta), biomasa seca de tallo+hojas (BST+H g/planta) y biomasa seca total (BsTg/plant). Durante el tiempo de evaluaciones se cuantificó el contenido de clorofila cada 15 días. Se seleccionaron tres hojas por planta, se utilizó el equipo portátil (The model CL-01 Chlorophyll content meter, Hansatech instruments, EE.UU), del mismo modo se evaluó la conductancia estomática $\text{mmol}/\text{m}^2/\text{s}$ (Measured by Decagon Model SC-1 Leaf porometer EE.UU).

El uso eficiente total de agua (UEA), fue determinado de la siguiente fórmula:

UEA total = [(Biomasa de tallo + hoja, g/planta⁻¹)/(agua aplicado durante el crecimiento, g/planta⁻¹)].

Índice de tolerancia a suelos ácidos

A partir de los datos de biomasa seca de tallo + hojas (g/planta) y biomasa seca de raíz (g/planta) de ambos tratamientos; se determinó el índice de tolerancia a suelos ácidos (ITSA) para cada genotipo:

ITSA= [(Biomasa seca de tallo y hojas + biomasa seca de raíz, g/planta en suelo sin dolomita)/(Biomasa seca de tallo y hojas + biomasa seca de raíz, g/planta en suelo con dolomita)] x 100.

La escala de clasificación al índice de tolerancia a suelos ácidos de los genotipos de cacao fue de la siguiente forma:

ITS ≤ 70% Sensible a suelos ácidos

ITS > 70% ≤ 90% Moderadamente tolerante a suelos ácidos

ITS > 90% Tolerante a suelos ácidos

Consumo y uso eficiente de Nutrientes

El contenido de macro y micro nutrientes en hojas y tallo fue determinado para todos los genotipos, muestra de aproximadamente 500 mg de biomasa seca molida, después de la digestión en ácido nítrico HNO₃ al 65% se determinaron los valores de K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn y Zn por espectrofotometría de absorción atómica (EAA Varian atomic spectrometers) la digestión para nitrógeno fue ácido sulfúrico HSO₄ al 0.05 N determinado por el método de Kjeldahl y la digestión para P y B fue ácido nítrico HNO₃ al 65% por el método de espectrofotometría molecular (Spectronic 20D a longitud de onda 420 NM).

el contenido de minerales en hojas y tallos fue expresado en g/planta para cada uno de los genotipos y tratamientos con los siguientes cálculos:

Consumo de nutrientes (CN):

CN= [Biomasa seca de tallo+ hojas g/planta x concentración de nutrientes (mg/g para macronutrientes y µg/g para micronutrientes)] (Baligar and Fageria, 1997).

Uso eficiente de nutrientes (UEN):

UEN= [(Biomasa seca de tallo+ hojas g/planta)/(contenido de nutrientes en tallo y hojas g/planta para macronutrientes y µg/planta para micronutrientes)] (Baligar and Fageria, 1997).

Análisis multivariado Diseño experimental

El diseño experimental fue una parcela dividida con dos niveles de humedad como las parcelas principales y los genotipos como las subparcelas. Las unidades experimentales se repitieron tres veces.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

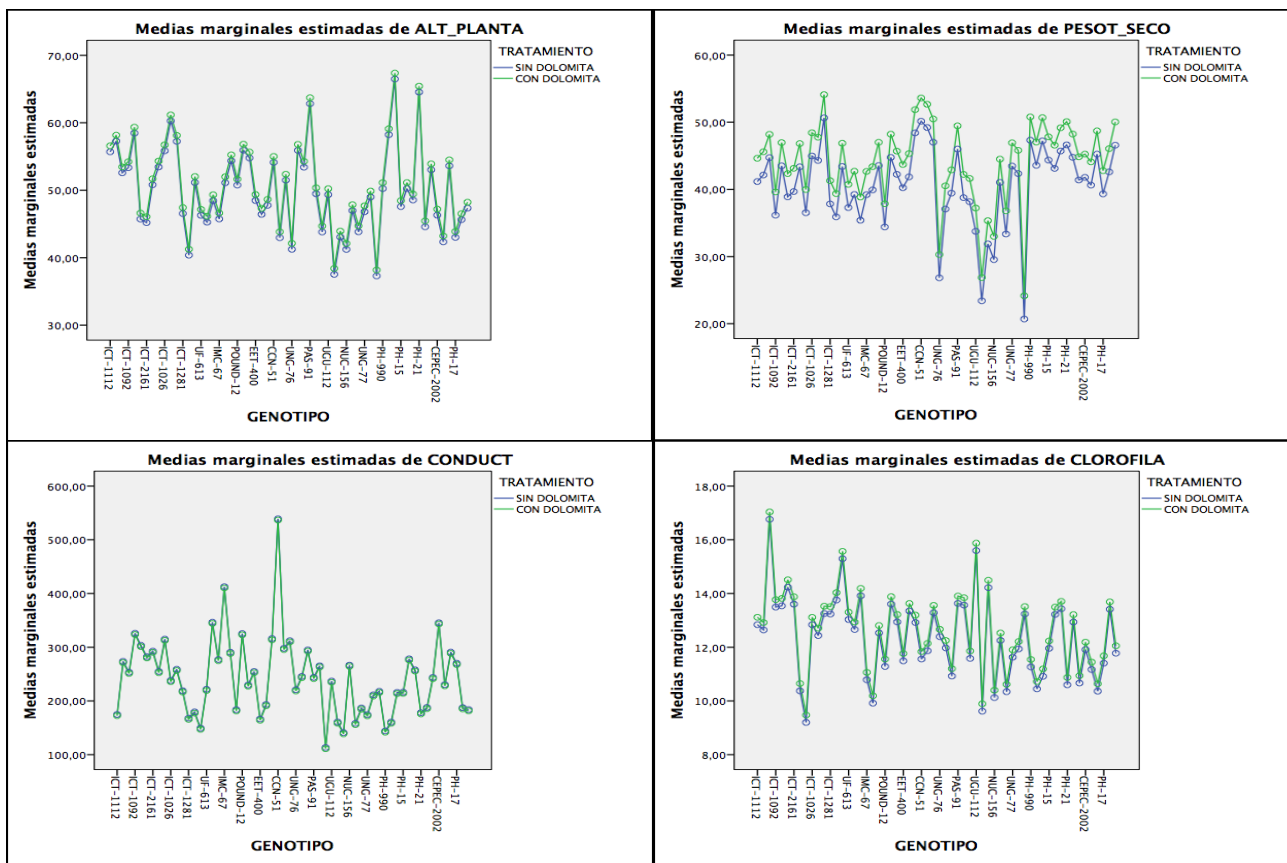


Figura. 1. Biometría de los genotipos y accesiones de cacao sometidos a suelos ácidos.

La acidez de los suelos limita el crecimiento de las plantas debido a una combinación de factores que incluyen la toxicidad de Al^{3+} . La acidez del suelo el tipo de Al presente en el suelo depende directamente del pH, es así que a un pH bajo 4,7 predomina el Al^{3+} .

Los valores de altura de planta, contenido de materia seca y contenido de clorofila registran valores superiores en los genotipos y accesiones sometidos a suelo con dolomita (pH 5.8 saturación de Al^{3+} menor a 0.25%), en comparación con suelos sin dolomita (pH 4.7 saturación de Al^{3+} a 30 %)

Los genotipos y accesiones de cacao usados en este estudio mostraron la diversidad genética en las variables estudiadas (altura de planta, biomasa, y contenido de clorofila) y tal variación podrían ser explotada en programas de mejoramiento para desarrollar cultivares con tolerancia superior a suelos ácidos predominantes en la amazonia peruana y evitando el cambio del uso de suelo que provoca grandes emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

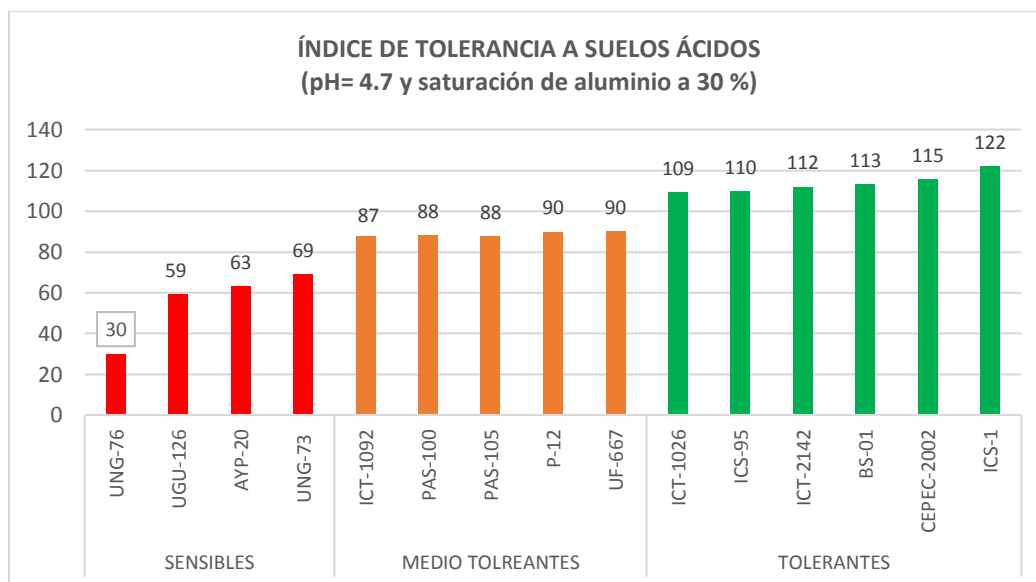


Figura. 2. Índice de tolerancia de genotipos y accesiones de cacao a suelos ácidos.

Mediante la relación del peso seco de la parte aérea (hojas y tallos) de los genotipos y accesiones en estudio sometidos a condiciones de acidez de suelo con pH 4.7 y saturación de aluminio al 30% versus condiciones de acidez de suelo con pH 5.8 y saturación de Aluminio (Al^{3+}) menor de 0.25% multiplicados por una constante se obtiene la ecuación del índice de tolerancia a suelos ácidos (ITSA) donde podemos clasificar a los genotipos en estudio en tolerantes, medio tolerantes y sensibles a suelos ácidos, de esta manera jerarquizamos según sus potenciales fisiológicos y genéticos.

Del total (60) genotipos en estudio el 60% son considerados tolerantes a suelos ácidos, entre ellos destacan ICS-1, ICS-95 (Colección internacional), CEPEC 2002, BS-01 (colección Brasil), ICT-2142, ICT-1026 (colección ICT), AYP-22, PAS-91 (colección silvestre), entre otros; el 33% presentan tolerancia media, destacan POUND-12, UF-667 (colección internacional), PAS-105, PAS-100 (colección silvestre), ICT-1092, (colección ICT), entre otros y el 7% de genotipos considerados no tolerantes a suelos ácidos; UNG-73, AYP-20, UGU-126 y UNG-76 (colección silvestre) entre otros.

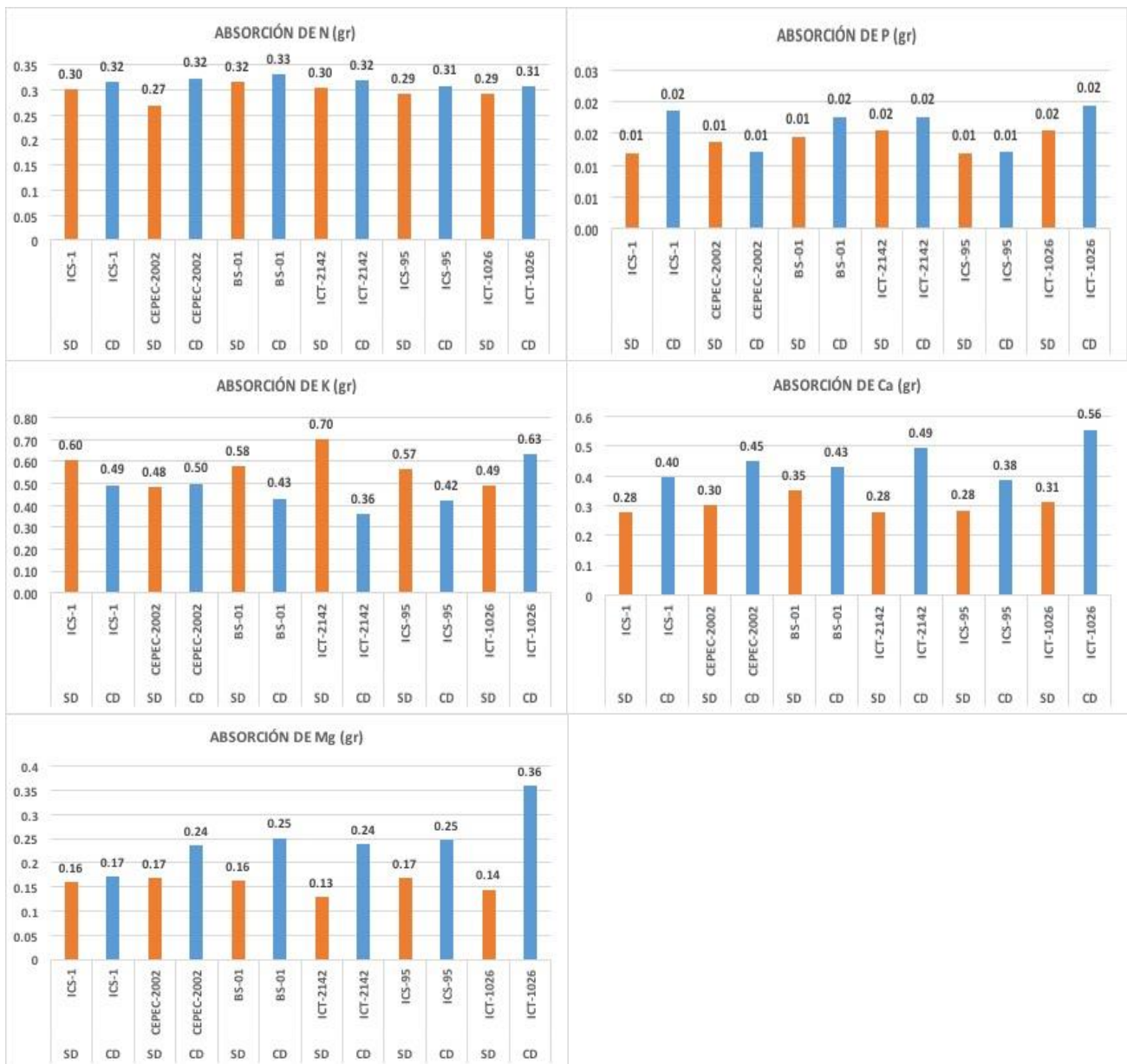


Figura. 3. Absorción de nutrientes a nivel foliar de genotipos con tratamientos sin y con aplicación de dolomita.

La mayoría de los suelos en la Amazonía peruana son ácidos, y la producción de cultivos está limitada por niveles tóxicos de Al, Fe y Mn y bajos niveles de N, P, Ca, Mg, y micronutrientes, En el caso del tratamiento sin dolomita, debido a los bajos valores de pH la calidad de materia orgánica y alto estrés producido por la acidez limitó su absorción por las plantas. Se observa una reducción en la absorción de nutrientes como el Fósforo (P) Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) de los genotipos sometidos a suelos ácidos versus los genotipos sometidos a condiciones de suelos con dolomita. Los genotipos ICT-1026, ICT-2142 (Colección ICT-Perú), BS-01 (Colección Brasil) y ICS-95 (Colección internacional) poseen atributos en la absorción de nutrientes (N, Mg y Ca) en condiciones de suelos ácidos y por mayor acumulación de biomasa seca; variables fundamentales para la selección de genotipos y accesiones tolerantes a suelos ácidos.

CONCLUSIONES

Los resultados mostraron que las variables conductancia estomática y biomasa seca total son los factores más importantes en la clasificación de cacao como tolerantes, moderadamente tolerantes y sensibles a la acidez del suelo. Por lo tanto, estas variables son cualidades o características de las plantas, confiables en la selección de genotipos y/o accesiones de cacao tolerantes a la acidez del suelo. A partir de los resultados obtenidos, la magnitud de absorción y transporte de nutrientes esenciales en los genotipos de cacao están influenciados por el nivel de toxicidad de aluminio en el crecimiento y la capacidad de los genotipos de cacao para tolerar la toxicidad de aluminio.

Del total (60) genotipos en estudio el 60% son considerados tolerantes a suelos ácidos, entre ellos destacan ICS-1, ICS-95 (Colección internacional), CEPEC 2002, BS-01 (colección Brasil), ICT-2142, ICT-1026 (colección ICT), AYP-22, PAS-91 (colección silvestre), entre otros; el 33% presentan tolerancia media, destacan POUND-12, UF-667 (colección internacional), PAS-105, PAS-100 (colección silvestre), ICT-1092 (colección ICT), entre otros y el 7% de genotipos considerados no tolerantes a suelos ácidos; UNG-73, AYP-20, UGU-126 y UNG-76 (colección silvestre).

Los genotipos ICT-1026, ICT-2142, ICT-1087 (Colección ICT-Perú), BS-01, CA-14 (Colección Brasil) y ICS-95, ICS-1 (Colección internacional) poseen atributos en la absorción de nitrógeno (N) en condiciones de suelos ácidos y por su mayor acumulación de biomasa seca; variables fundamentales para la selección de genotipos y accesiones tolerantes a suelos ácidos.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú), por el financiamiento de acuerdo al contrato 428-PNICP-PIAP-2014. Al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica – Servicio de Investigación Agrícola (USDA-ARS) por el soporte técnico-financiero a este trabajo. Al Instituto de Cultivos Tropicales –ICT por las facilidades técnicas en el desarrollo de esta investigación y todas aquellas personas e instituciones que de una u otra manera han contribuido con el logro de los objetivos de este estudio.

REFERENCIAS

1. ALMEIDA, A. A. y R. VALLE. 2007. Ecophysiology of the cocoa tree. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19(4): 425-448.
2. Alegre, J.; Arévalo, L.; Ricse, A.; Callo-Concha, D.; Palm, C. 2006. Secuestro de carbono con sistemas alternativos en el Perú. En: sistemas agroforestales, Tendencia da agricultura Ecologia nos trópico. IV Congreso Brasileiro de Sistemas Agroforestais.

3. Arévalo. G.E. 2012. Identificación del cacao criollo como producto nativo de la biodiversidad de San Martín y evaluación de su potencial regional. Informe GIZ: 14-17.
4. Baligar, V. C., and N. K. Fageria. 2005. Soil Aluminum Effects on Growth and Nutrition of Cacao. *Soil Sci. Plant Nutri*: 51 (S), 709-713, 2005. Agricultural Research Center, 10300 Baltimore. USA.
5. Baligar, V. C., N. K. Fageria y Z. L. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 32(7&8), 921–950.
6. Baligar, V. C., and N. K. Fageria. 1997. Nutrient use efficiency in acid soils: nutrient management and plant use efficiency pp. 75–93. In: A. C. Monitz, A.M.C. Furlani, N. K. Fageria., C. A. Rosolem, and H. Cantarells. (eds.), *Plant-Soil Interactions at Low pH: Sustainable Agriculture and Forestry Production*. Brazilian Soil Science Society Compinas, Brazil.
7. Cabala-Rosand P, Santana MBM, and Santana CJL de 1989: Cacao. In *Detecting Mineral Nutrient Deficiencies in Tropical and Temperate Crops*, Ed. DL Plucknett and HB Sprague, p. 409-425, Westview Tropical Agriculture Series, Westview Press, London.
8. Casierra, F y Aguilar, O.E. 2007. Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS* - Vol. 1 - No.2 - pp. 246-257.
9. Fageria NK and Baligar VC 2003: Fertility management of tropical acid soils for sustainable crop production. In *Handbook of Soil Acidity*, Ed. Z Rengal, p. 359-385, Marcel Dekker, New York
10. FAO.2016. Estado mundial del recurso suelo. Informe técnico Suelos y seguridad alimentaria. Sección 6.4.4. Roma. Italia.
11. Foy CD 1984: Physiological effects of hydrogen, aluminum, and manganese toxicities in acid soils. In *Soil Acidity and Liming*. Monograph 12, 2nd Ed., Ed. F Adams, p. 57-97, American Society of Agronomy, Madison WI.
12. Hardy F 1960: *Cacao Manual*. Inter-American Institute of Agriculture Science, Turrialba, Costa Rica.
13. Smyth AJ 1966: The selection of soils for cocoa. *Soils Bull* 5, Food and Agricultural Organization of the United Nation Rome
14. Wood GAR and Lass RA 2001: *Cocoa*, 4th Ed., Blackwell Science, Oxford, UK
15. Wilson K 1999: *Coffee, Cocoa and Tea*, CAB1 Publishing, Oxon, UK.