

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

Arévalo-Gardini, E<sup>1,2</sup>; Farfán-Pinedo, A<sup>1</sup>; Arévalo-Hernández, C<sup>1</sup>; Baligar-Virupax, C<sup>3</sup>.

1. Instituto de Cultivos Tropicales, Tarapoto, Perú.

2. Universidad Nacional de San Martín – UNSM, Tarapoto, Perú

3. USDA-ARS- Beltsville Agricultural Research Center (BARC), Beltsville, MD, USA.

### 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.

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

### INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es un cultivo perenne de gran importancia económica, [1]. El cacao se cultiva en las zonas tropicales húmedas y es una importante fuente de divisas para los pequeños productores [2]. La especie se originó en la región del Amazonas (Perú) [3] pero fue domesticado inicialmente en Centroamérica por los mayas, hace aproximadamente 3500 años [4]. Tradicionalmente los dos principales grupos genéticos, "Criollo" y "Forastero" que se distinguen por sus características morfológicas y orígenes geográficos, un tercer grupo "Trinitario", ha sido reconocido y se compone de los híbridos "Criollos" x "Forasteros" [5].

Las limitaciones químicas para la producción de cultivos en suelos ácidos se pueden superar mediante la adición de cal y fertilizantes. Para muchos agricultores en las zonas cacaoteras del Perú, el uso del encalado es un insumo costoso. El uso de plantas tolerantes a suelos ácidos ayudará a reducir el costo de producción en el cultivo de cacao [6].

La selección de plantas de cacao tolerantes a toxicidad de aluminio es una alternativa potencial, identificando genotipos tolerantes a la acidez del suelo es importante y útil para los productores cacaoteros en la producción de cultivares superiores de alto rendimiento adaptadas a suelos ácidos [7].

Se tiene conocimiento que el aluminio inhibe la raíz y el crecimiento de brotes en las plantas [8,9,10]. Las diferencias en el rendimiento y la absorción de nutrientes entre las variedades/genotipos de una especie

determinada, se han relacionado con la absorción, translocación, y por la demanda de nutriente absorbido por genotipo [11].

El objetivo de este estudio es identificar genotipos y/o accesiones de cacao silvestres y domesticados, con fines de establecer los posibles mecanismos de tolerancia a la acidez del suelo y ofrecer apoyo para la selección de genotipos a ser cultivadas en regiones con problemas de pH en suelos ácidos y alto porcentaje de saturación de aluminio, producto de factores como el material parental e inadecuado manejo de los suelos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue realizado en dos estaciones experimentales. La primera etapa en el banco de germoplasma de la estación experimental “El Choclino” del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), Tarapoto, San Martín; 06° 28' 37,3" latitud sur; 76° 19'54.6" longitud oeste y altitud 530 m.s.n.m.; donde se seleccionaron 60 genotipos y/o accesiones de cacao silvestres y domesticados pertenecientes a grupos genéticos Forastero, Criollo y Trinitario, las plántulas fueron propagadas mediante enraizamiento de 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.

La segunda etapa se realizó en el invernadero de la estación experimental “Juan Bernito” del Instituto de Cultivos Tropicales (ICT), Tarapoto, San Martín, 06°30'28" latitud sur y 76°00'18" longitud oeste, altitud de 333 m.s.n.m.; seleccionando tres plántulas por cada genotipo y/o accesión, se sembraron en macetas conteniendo sustrato: suelo (5 Kg) con textura franco arcilloso, Tratamiento 1: pH= 4.7 con saturación de aluminio a 30 % y tratamiento 2: pH= 5.8 con saturación de aluminio < 0.25 % encalado con dolomita; ambos tratamientos fueron fertilizados con la fórmula de abonamiento NPK 60-50-90, empleando como fuente de fertilización urea, superfosfato triple de calcio y cloruro de potasio respectivamente.

Durante el tiempo de ejecución del experimento (6 meses) se mantuvo la humedad del suelo a capacidad de campo 33 Kpa con el tensiómetro de suelos (The model 2725 soil moisture tensiometer, EE. UU), se monitoreo la temperatura ambiental y humedad relativa con el termohidrometro (control company EE.UU), y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) se utilizó un medidor cuántico (Modelo MQ-200 Quantum flux Apogee instruments, EE.UU). Los valores de PAR dentro del invernadero se mantuvieron en valores de PPF de 800 a 900  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ .

Durante el tiempo de evaluación y una semana antes de la cosecha se realizaron evaluaciones biométricas, altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), número de hojas (NH), número de ramas (NR), área foliar (AF), contenido de clorofila (CC), conductancia estomática (CE), las evaluaciones de clorofila se realizaron con el equipo (The model CL-01 Chlorophyll content meter, Hansatech instruments, EE.UU) y las evaluaciones de conductancia estomática con el equipo (The model SC-1 Leaf Porometer, Decagon devices, EE.UU), para determinar el área foliar se usó el programa (Assess 2.0 image analysis software for disease Quantification).

Al momento de la cosecha de plántulas se retiró el sustrato y se procedió a lavar las raíces, después del oreado la parte aérea “shoot” (tallo + hojas) y parte radicular (raíz), se registró el peso fresco y en sobres de papel se puso a estufa a 75 °C, por 3 días para obtener la biomasa seca.

A partir de los datos de biomasa fresca y seca de la parte aérea de las plántulas, shoot (tallo + hojas) y parte radicular (raíz) de ambos tratamientos; se determinó el índice de tolerancia a suelos ácidos para todos los genotipos:

ITSA= [(Peso seco (gr) Shoot + peso seco (gr) raíz) Tratamiento 1/ (Peso seco (gr) Shoot + peso seco (gr) raíz) Tratamiento 2) x 100]. Baligar et al 1997.

ITSA: Índice tolerancia a suelos ácidos

Shoot: Tallo + hojas

**Cuadro 01.** Rangos de clasificación para determinar el índice de tolerancia a suelos ácidos.

Valores formula ITSA	Clasificación
$\leq 70$	Sensible (S)
$>70 \leq 90$	Moderadamente tolerante (MT)
$> 90$	Tolerante

Fuente: Baligar et al, 1997

## Diseño experimental

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1 se muestran los resultados de la Biometría de los genotipos y accesiones de cacao sometidos a suelos ácidos

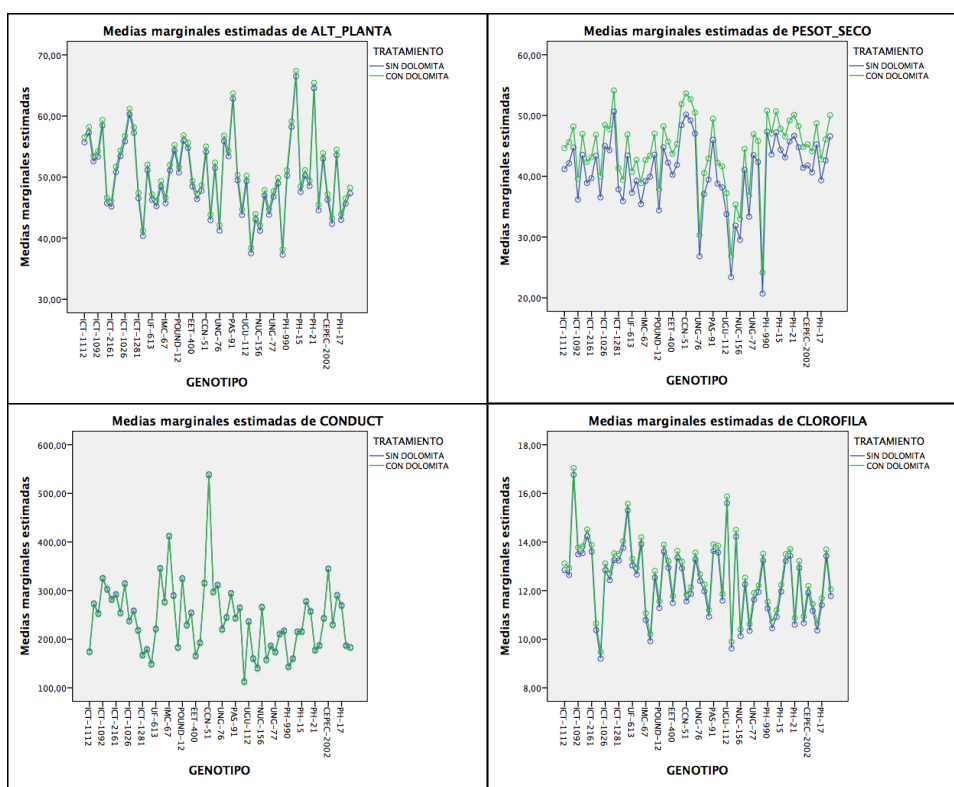
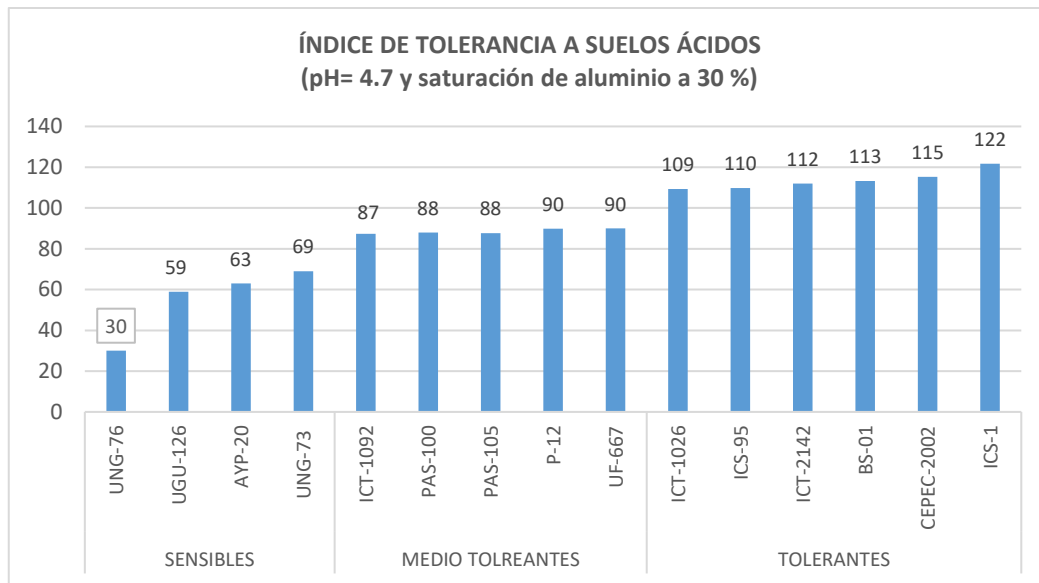


Figura. 1. Biometría de los genotipos y accesiones de cacao sometidos a suelos ácidos.

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 %)

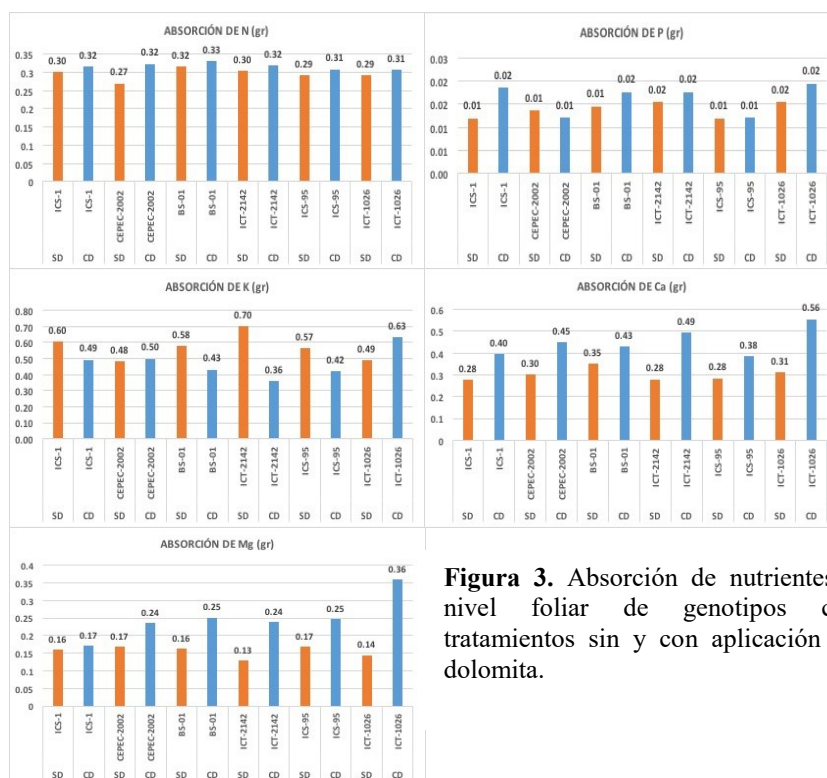
Los genotipos y accesiones de cacao usados en este estudio mostraron la diversidad genética en las variables estudiadas (altura de planta, biomasa, y contenido de clorofila) y tal variación podrían ser explotada en programas de mejoramiento para desarrollar cultivares con tolerancia superior a suelos 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 atmosfera.



**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 (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.

## REFERENCIAS

1. Almeida A-AF, Valle RR, Mielke MS, Gomes FP (2007) Tolerance and prospection of phytoremediator woody species of Cd, Pb, Cu and Cr. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 19, 83–98.
2. Pang Thau Yin J (2004) Rootstock effects on cocoa in Sabah, Malaysia. *Experimental Agriculture* 40.
3. Cheesman EE (1944). Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cocoa populations. *Trop Agricult*, 21: 144–159.
4. Motamayor JC, Risterucci AM, Lopez PA, Ortiz CF, Moreno A, et al. (2002) Cacao domestication I: the origin of the cacao cultivated by the Mayas. *Heredity* 89: 380–386.
5. Cheesman E (1944) Notes on the nomenclature, classification and possible relationships of cocoa populations. *Tropical Agriculture* 21:144–159.
6. Baligar V.C, Schaffert R.E, Dos Santos H,L.(1993) Soil aluminium effects on uptake, influx, and tranport of nutrients in sorghun genotypes.2.
7. Baligar V.C, Schaffert R.E, Dos Santos H,L.(1993) Growth and nutrient uptake parameters in sorghum as influenced by aluminium.Vol 85, N° 5.
8. Fageria, N.K., V.C. Baligar, and D.G. Edwars.1990.Soil plant nutrient relationships at low pH stress.p.475-507.
9. Fageria, N.K., V.C. Baligar, and R.J. Wirght.1998. Aluminium toxicity in crop plants. *J Plant Nutr.* 11:303-319.
10. Foy, C.D.1984. Physiological effects of hydrogen, aluminio and manganese toxicities in acid soils. P. 57-97.
11. Clark, R.B.1994. Physiological aspects of calcium, magnesium, and molybdenum deficiencie in plants. P. 99-170.

