

Influencia de factores agroambientales sobre la calidad del clon de cacao (*Theobroma cacao* L.) PH-16 en la región cacaotera de Bahia, Brasil

Influence of agro-environmental factors on the quality of cacao (*Theobroma cacao* L.) clone PH-16 in the cacao region of Bahia, Brazil

Guilherme Amorim Homem de Abreu Loureiro^{1*}, Quintino Reis de Araujo^{1,2}, Raul René Valle^{1,2}, George Andrade Sodré^{1,2}, Soraya Maria Moreira de Souza²

¹Universidade Estadual de Santa Cruz. Carretera Ilhéus-Itabuna Km 16 s/n. CP. 45662-000, Ilhéus, Bahia, Brasil.

²Centro de Pesquisas do Cacau. Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira. Carretera Ilhéus-Itabuna Km 22 s/n. CP. 45600-970, Itabuna, Bahia, Brasil.

*Autor de correspondencia: gahal.85@gmail.com

Nota científica recibida: 12 de noviembre de 2016 **aceptada:** 21 de marzo de 2017

RESUMEN. Los desafíos técnicos y científicos actuales para el cultivo del cacao implican la necesidad de evaluar múltiples atributos relacionados con la producción primaria y con los criterios de calidad. El estudio se realizó con el clon de cacao PH-16 en la zona húmeda de la región cacaotera de Bahia, Brasil. El objetivo fue conocer la influencia del sitio de cultivo sobre las variables físicas y químicas antes y después de la fermentación de los granos de cacao. Las variables químicas más influenciadas por el medio ambiente fueron el pH y la acidez total de los granos con mucílago, y el pH, acidez total e índice de pigmentos de los granos fermentados. El sitio de cultivo que corresponde al Argisol Amarillo Distrófico latosólico, en el sistema agroforestal Cabruca con densidad media de 35 árboles de sombra por hectárea, presentó los granos con mejores atributos de calidad.

Palabras clave: Beneficio poscosecha del cacao, calidad del cacao, *Theobroma cacao* L., trazabilidad agrícola

ABSTRACT. Current technical and scientific challenges for cacao cultivation involve the need to evaluate numerous attributes related to primary production and quality criteria. The study was conducted with the cacao clone PH-16, in the humid zone of the cacao region of Bahia, Brazil. The objective was to know the influence of the place of cultivation on the physical and chemical variables, before and after the cacao grains have fermented. The chemical variables that are more liable to be influenced by the environment are the pH and overall acidity of the grains with mucilage, as well as the pH, overall acidity, and pigment rate of fermented grains. Cultivation areas with latosol dystrophic yellow argisol, in the agro-forestry Cabruca system, with a mean density of 35 shade trees per hectare, had the best grains, quality-wise.

Key words: Cacao post-harvesting processing, cacao quality, *Theobroma cacao* L., agriculture traceability

INTRODUCCIÓN

El árbol del cacao (*Theobroma cacao* L.) se cultiva en 10 millones de hectáreas en los países tropicales con una producción superior de los 4 millones de toneladas (Wood y Lass 2008, FAO 2017). Después del beneficio poscosecha, los granos son el principal producto comercial del cacao, los cuales son la materia prima del chocolate, alimento altamente consumido en el mundo, cuya demanda

industrial aumenta cada año (ICCO 2012). Por lo que las inversiones e innovaciones tecnológicas en el cultivo del cacao tienen la intención de aumentar la productividad y la calidad del cacao (Araujo et al. 2014, Badrie et al. 2015).

La estrategia básica para incrementar la productividad del cacao en Brasil, es la multiplicación vegetativa o clonación de genotipos tolerantes a la enfermedad de la escoba de bruja (Monteiro y Ahnert 2012). Pero estos genotipos tienen diferentes

demandas nutricionales, y son influenciados por la interacción entre el genotipo y el ambiente (Lopes et al. 2011, Muniz et al. 2013). En este contexto, el genotipo Porto Híbrido 16 (PH-16), tolerante a la escoba de bruja, se originó a partir de una población de plantas híbridas originadas de la cruce entre genotipos Forasteros y Trinitarios (Cruz et al. 2013). Por lo que es necesario caracterizar sus atributos físicos y químicos de los granos y conocer su calidad (Araujo et al. 2014, Badrie et al. 2015, Loureiro et al. 2016).

Factores ambientales, genéticos y tecnológicos como el manejo poscosecha, la fermentación, el secado y el tostado son fundamentales para la caracterización física y química de los granos de cacao (Afoakwa, 2010). Por lo que es importante controlar el pH, la acidez total, el contenido de sólidos solubles totales del mucílago durante las diferentes etapas de poscosecha. Por lo anterior, objetivo del presente trabajo fue evaluar la influencia de diferentes sitios de cultivo, en las propiedades físicas y químicas de la masa del cacao y de los granos antes y después del beneficio poscosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Se evaluaron 12 sitios de cultivo de cacao localizados en la región cacaotera del sur de Bahía, Brasil (Tabla 1), zona húmeda con los tipos climáticos de Thornthwaite: B4r A', B3r A', B2r A', B2r B', B1r A', B1r' A', B1w A' (SEI 1998). En estos sitios, el clon PH-16 se cultiva bajo los sistemas cacao y caucho [*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex ADR de Juss.)], cacao y erythrina (*Erythrina fusca* Lour.), y cabruca, con distintas densidades de árboles de sombra por hectárea y diferentes suelos (Tabla 1) de acuerdo con el Sistema Brasileño de Clasificación de Suelos (SiBCS) (Santos et al. 2013).

Muestreo de suelos y frutos del cacao

En el estudio, el suelo fue el factor que estratificó el sitio (origen) de la muestra y las unidades experimentales fueron los árboles del cacao injertados con el genotipo PH-16, de los que

se cosecharon 50 mazorcas maduras dentro del perímetro de un área circular con un radio de aproximadamente 100 m de distancia entre los puntos de identificación de los suelos por el SiBCS (Santos et al. 2013), en cada sitio se tomaron tres repeticiones al azar. En cada sitio de estudio, una hectárea de cultivo se dividió en tres áreas de cosecha, que se caracterizaron por tener el mismo suelo y sistema de cultivo. Por lo que cada muestra corresponde a un suelo identificado y clasificado.

Fermentación del cacao

Los granos con mucílago se fermentaron por 168 h (7 d) en cajas de espuma de poliestireno de 30 x 20 x 30 cm con capacidad aproximada de 8 kg. Después de las 48 h de fermentación, la masa del cacao se volteó todos los días para oxigenarla y homogeneizarla. Después de la fermentación, los granos se secaron por 192 h (8 d), en un horno de ventilación forzada a temperatura de entre 36 y 38 °C. Para después pelarlos de forma manual con una pinza y separar la cáscara de la semilla y el endospermo, el endospermo (cotiledones y embriones) se molió para su posterior análisis químico.

Obtención del extracto del mucílago de los granos

Se pusieron 20 granos de cacao en un Becker de 50 ml, a los que se le adicionaron 200 ml de H₂O destilada. Para luego homogeneizar y centrifugar por 10 min a 3 000 rpm. Para obtener una alícuota de mucílago de cacao de 25 ml.

pH y acidez total

En el mucílago de los granos y en los endospermos de los granos crudos y fermentados se determinó el potencial de hidrógeno (pH) y la acidez total por los métodos 970.21 y 942.15 de la AOAC (Horwitz y Latimer 2005).

Índice de pigmentos

El grado de fermentación se estimó en los endospermos de los granos crudos y fermentados por el método del índice de pigmentos (Gourieva y Tserevitinov 1979).

Tabla 1. Ubicación de los sitios evaluados.

Sitio	Coordenadas geográficas	Clasificación del suelo ¹	Sigla del SiBCS	Clasificación del suelo	Taxonomía del suelo	Sistema de Cultivo	Densidad media de árboles de sombra ha ⁻¹
1	13° 40' 30" S, 39° 14' 27" W	Latosolo Amarelo Distrófico Cambissólico Argissolo	LAd cam	Latosol Amarillo Distrófico cambissólico Argisol	Hapludox	Cacao ² x Caucho ³	150
2	13° 44' 38" S, 39° 30' 10" W	Vermelho-Amarelo Distrófico Típico Argissolo	PVAd	Rojo- Amarillo típico Argisol	Hapludult	Cacao ² x Erythrina ⁴	60
3	13° 45' 21" S, 39° 20' 25" W	Vermelho-Amarelo Distrófico Abruptico Latosolo	PVAd	Rojo- Amarillo Distrófico abruptico Latosol	Hapludult	Cabrauca ⁵	60
4	13° 46' 07.0" S, 39° 17' 52.0" W	Amarelo Distrófico Típico Latosolo	LAd	Amarillo Distrófico típico Latosol	Typic Hapludox	Cacao ² x Caucho ³	350
5	13° 51' 08" S, 39° 17' 54" W	Vermelho-Amarelo Distrófico Típico Argissolo	LVAAd	Rojo- Amarillo Distrófico típico Argisol	Typic Hapludox	Cacao ² x Caucho ³	400
6	14° 31' 14" S, 39° 15' 45" W	Vermelho-Amarelo Eutrófico Cambissólico Cambissolo	PVAe cam	Rojo- Amarillo Eutrófico Cambissólico Cambisol	Hapludalf	Cabrauca ⁵	50
7	14° 51' 36" S, 39° 14' 42" W	Háplico Distrófico Típico Latosolo	CXd	Háplico Distrófico típico Latosol	Dyst ropept	Cabrauca ⁵	35
8	14° 51' 47" S, 39° 06' 47" W	Vermelho-Amarelo Distrófico argissólico Argissolo	LVAAd arg	Rojo- Amarillo Distrófico argissólico Argisol	Hapludox	Cabrauca ⁵	70
9	15° 17' 04" S, 39° 28' 43" W	Amarelo Distrófico latossólico Argissolo	PAd lat	Amarillo Distrófico latossólico Argisol	Hapludult	Cabrauca ⁵	35
10	15° 23' 08" S, 39° 26' 04" W	Vermelho-Amarelo Distrófico Típico Argissolo	PVAd	Rojo- Amarillo Distrófico típico Argisol	Hapludult	Cabrauca ⁵	35
11	15° 23' 15.1" S, 39° 25' 48.6" W	Vermelho-Amarelo Alítico Típico Argissolo	PVA ali	Rojo- Amarillo Alítico típico Argisol	Hapludult	Cabrauca ⁵	35
12	16° 29' 02" S, 39° 23' 56" W	Vermelho-Amarelo Distrófico Coeso	PVAd coe	Rojo- Amarillo Distrófico-cohesivo abruptico	Hapludult	Cacao ² x Caucho ³	400

¹SiBCS - Sistema Brasileño de Clasificación de Suelos (Santos et al. 2013). ²*Theobroma cacao* L. ³*Hevea brasiliensis* (Willd. Ex ADR de Juss.) Muell. Arg. ⁴*Erythrina fusca* Lour. ⁵Cabrauca es un sistema ecológico de cultivo agroforestal, donde los árboles del cacao se cultivan bajo los árboles nativos de la mata atlántica del Sur de Bahía (Lobão et al. 2007).

Contenido de sólidos solubles y temperatura

El contenido de sólidos solubles (°Brix) del mucílago de los granos se determinó con un refrac-

tómetro portátil Atago, modelo PAL-1, con corrección directa de la lectura de los grados brix. El control de la temperatura de la masa de cacao

durante la fermentación se midió en grados Celsius con un termómetro digital, que se colocó a una profundidad de 15 cm.

Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 12 sitios de estudio caracterizados por diferentes tipos de suelos y sistemas de cultivo con tres repeticiones por sitio. El análisis estadístico se realizó con en el programa R. La prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov con la corrección de Lilliefors se llevó a cabo con el paquete 'nortest' (Gross y Ligges 2015); mientras que la transformación normalizadora se realizó con la función Normalize del paquete QuantPsyc (Fletcher 2015). El Análisis de Varianza y la prueba de Scott-Knott al 5 % de probabilidad se realizó con el paquete ExpDes (Ferreira *et al.* 2015) y los gráficos se realizaron con el paquete Lattice (Sarkar 2016).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Por el bajo coeficiente de variación ($CV = 1.4\%$) del pH de la masa de granos de cacao sin fermentar se observa que la variable tuvo variación (Tabla 2). El mucílago del grano de cacao es ácido, con pH entre 3.0 y 3.5, debido al contenido de ácido cítrico (Penha y Matta 1998). Las reacciones de alta acidez en la fermentación pueden influir en la calidad final de los granos de cacao, lo que compromete el aroma del chocolate (Loureiro *et al.* 2016). Los valores promedio de pH de los granos de cacao sin fermentar están dentro del rango reportado por Penha y Matta (1998). Se observan los mayores valores de pH en los granos de cacao en los sitios de cultivo con suelos 6 - Argisol Rojo-Amarillo Eutrófico cambisólico, 7 - Cambisol Háptico Distrófico típico, 8 - Latosol Rojo-Amarillo Distrófico argisólico y 12 - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico-cohesivo abráptico. Lo que indicar que los tipos de suelos donde se cultiva el cacao influye en la acidez de los granos de cacao. Se observó mayor variación de acidez en los granos de cacao sin fermentar que la observada en el pH; la acidificación de los granos permite una serie de reacciones enzimáticas que se asocian con

las características finales del chocolate (Schwan y Wheals 2004, Loureiro *et al.* 2016). El exceso de acidez puede ser perjudicial para la calidad final de los granos de cacao, mientras que menores valores de acidez total se relacionan con la calidad del cacao. Los sitios de cultivo con los menores promedios de acidez total fueron el 9 - Argisol Amarillo Distrófico latosólico (10 ± 0.69 meq NaOH 100 g^{-1}) y 12 - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico-cohesivo abráptico (7.2 ± 0.50 meq NaOH 100 g^{-1}). En los granos de cacao fermentado los valores de pH son aproximadamente dos veces mayor que en los granos de cacao sin fermentar. Mientras que los valores de acidez total de los granos de cacao fermentado son aproximadamente 14 veces menores que la presentada en los granos de cacao sin, lo que indica una reducción considerable de la acidez total en el proceso de fermentación que contribuye a la calidad del cacao.

El contenido de sólidos solubles del extracto del mucílago de los granos de cacao sin fermentar presentó una variación mayor ($CV = 8.1\%$) que las observadas en el pH y la acidez total. La pulpa del cacao se puede clasificar como un producto de alto contenido de acidez ($pH < 4.5$) y alto contenido de sólidos solubles totales, con valores de alrededor de 18 °brix. Estos dos factores promueven el crecimiento de microorganismos que actúan en la fermentación (Penha y Matta 1998). El contenido de sólidos solubles en el mucílago de los granos cacao es casi cinco veces mayor que el contenido del extracto de la pulpa, con promedio general de 3.83 °Brix.

La temperatura máxima de 51 °C se tuvo en el tercer día de fermentación. Al final del séptimo día de fermentación, la temperatura alcanzó valores mínimos, medios y máximos de 18, 20 y 25 °C, respectivamente. Los granos de cacao fermentado no deben tener valores altos de acidez (Schwan y Wheals 2004, Loureiro *et al.* 2016), por lo que sobresale el sitio 9 - Argisol Amarillo Distrófico latosólico (7.59 ± 0.22) con el mayor promedio de pH en los granos de cacao fermentado (Tabla 3).

La acidez total de los granos de cacao fermentado tuvo valores promedio de 0.88 meq NaOH

Tabla 2. Análisis de varianza, prueba de Scott-Knott y análisis descriptivo de los granos de cacao sin fermentar y fermentados del genotipo PH-16.

Fuentes de Variación	Granos sin fermentar			Granos fermentados		
	pH	Acidez Total	Contenido de Sólidos Solubles	pH	Acidez Total	Contenido de Sólidos Solubles
		meq NaOH 100 g ⁻¹	°Brix		meq NaOH 100 g ⁻¹	°Brix
Cuadrados medios						
Sitios ¹	0.03**	16.2**	0.71**	0.42**	0.53**	0.01 ^{ns}
Error	0.002	0.83	0.10	0.07	0.02	0.01
CV (%)	1.4	7.2	8.1	3.9	15.5	9.1
Promedio ± Desviación Estándar (n = 3)						
Sitios ¹						
01 LAd cam	3.29 ± 0.03 ^c	15.7 ± 0.59 ^a	3.93 ± 0.31 ^b	6.65 ± 0.33 ^b	1.08 ± 0.24 ^c	1.27 ± 0.12
02 PVAd	3.26 ± 0.01 ^d	12.8 ± 1.17 ^c	3.93 ± 0.12 ^b	6.64 ± 0.45 ^b	0.74 ± 0.19 ^d	1.27 ± 0.06
03 PVAd	3.40 ± 0.02 ^b	13.0 ± 0.23 ^c	3.80 ± 0.17 ^b	6.72 ± 0.22 ^b	0.82 ± 0.15 ^c	1.13 ± 0.23
04 LAd	3.21 ± 0.03 ^d	15.8 ± 1.02 ^a	3.87 ± 0.21 ^b	6.48 ± 0.16 ^b	0.94 ± 0.10 ^c	1.17 ± 0.06
05 LVAd	3.31 ± 0.03 ^c	12.1 ± 0.80 ^c	2.87 ± 0.25 ^c	6.94 ± 0.24 ^b	0.64 ± 0.12 ^d	1.20 ± 0.10
06 PVAd cam	3.51 ± 0.02 ^a	13.0 ± 1.28 ^c	4.47 ± 0.21 ^a	6.84 ± 0.25 ^b	0.64 ± 0.08 ^d	1.27 ± 0.15
07 CXd	3.51 ± 0.02 ^a	14.1 ± 0.35 ^b	4.57 ± 0.23 ^a	6.84 ± 0.43 ^b	0.60 ± 0.14 ^d	1.17 ± 0.06
08 LVAd arg	3.52 ± 0.02 ^a	12.5 ± 1.29 ^c	3.23 ± 0.12 ^c	6.62 ± 0.16 ^b	0.46 ± 0.08 ^e	1.17 ± 0.06
09 PAd lat	3.43 ± 0.09 ^b	10.0 ± 0.69 ^d	3.90 ± 0.60 ^b	7.59 ± 0.22 ^a	0.41 ± 0.05 ^e	1.27 ± 0.06
10 PVAd	3.37 ± 0.02 ^b	12.5 ± 1.14 ^c	4.23 ± 0.55 ^a	6.03 ± 0.26 ^c	1.86 ± 0.14 ^a	1.17 ± 0.15
11 PVA ali	3.32 ± 0.03 ^c	11.8 ± 0.99 ^c	3.80 ± 0.35 ^b	6.32 ± 0.04 ^c	1.45 ± 0.15 ^b	1.23 ± 0.06
12 PVAd coe	3.44 ± 0.11 ^a	7.2 ± 0.50 ^e	3.40 ± 0.17 ^c	6.70 ± 0.04 ^b	0.87 ± 0.03 ^c	1.33 ± 0.21
Muestra General (n = 36)						
Valor mínimo	3.18	6.8	2.60	5.75	0.35	1.00
Promedio ± DE	3.38 ± 0.11	12.5 ± 2.4	3.83 ± 0.54	6.69 ± 0.41	0.88 ± 0.42	1.22 ± 0.12
Valor máximo	3.55	16.9	4.70	7.76	1.98	1.50

¹Sitios de cultivo caracterizados por tipos de suelos: 1 LAd cam - Latosol Rojo Distrófico cambisólico. 2 PVAd - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico típico. 3 PVAd - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico abruptico. 4 LAd - Latosol Rojo-Amarillo Distrófico típico. 5 LVAd - Latosol Rojo-Amarillo Distrófico típico. 6 PVAd cam - Argisol Rojo-Amarillo Eutrófico cambisólico. 7 CXd - Cambisol Háptico Distrófico típico. 8 LVAd arg - Latosol Rojo-Amarillo Distrófico argisólico. 9 PAd lat - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico latosólico. 10 PVAd - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico. 11 PVA ali - Argisol Rojo-Amarillo Alítico típico. 12 PVAd coe - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico-cohesivo abruptico. GL Grados de Libertad. CV Coeficiente de Variación. DE Desviación estándar. Los niveles de significación para el análisis de la prueba F: (**). Error del 1 %, (^{ns}) No significativo.

100 g⁻¹, valor que es 14 veces menor que el encontrado en los granos sin fermentar. Esta reducción de la acidez de los granos de cacao durante el proceso de fermentación se ha reportado por Schwan y Wheals (2004). Presentando los menores promedios de acidez los granos de cacao fermentado de los sitios 8 - Latosol Rojo-Amarillo Distrófico argisólico (0.46 ± 0.08 meq NaOH 100 g⁻¹) y 9 - PAd lat - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico latosólico (0.41 ± 0.05 meq NaOH 100 g⁻¹). No se observaron diferencias estadísticas entre los promedios del contenido de sólidos solubles de los granos de cacao fermentados, pero el valor promedio de 1.22 es casi tres veces menor que el promedio del extracto de los granos sin fermentar. Lo que se debe a la disminución del contenido de sólidos solubles durante la fermentación debido al consumo de metabolitos primarios, como los azúcares por los microorganismos.

En la fermentación aeróbica, el mucílago que rodea el grano de cacao se degrada por la acción de microorganismos del medio ambiente natural, con la producción de metabolitos tales como etanol y ácidos orgánicos como el acético, cítrico, láctico, y oxálico, subiendo la temperatura hasta los 50 °C (Schwan y Wheals 2004). Al final del proceso fermentativo muchas reacciones ocurren facilitando la entrada de sustancias ácidas en los cotiledones de los granos. Al mismo tiempo algunos ácidos son degradados en compuestos volátiles, que ocasionan que disminuyen la acidez total, además de que se ha reportado una correlación inversa entre pH y acidez total (Loureiro *et al.* 2016) de los granos de cacao fermentado (Figura 1a).

El pH y la acidez de los granos son atributos importantes de los genotipos de cacao que sufren alteración durante la fermentación, por lo que no

Tabla 3. Análisis de varianza, prueba de Scott-Knott y análisis descriptivo de las variables de los granos de cacao crudos y fermentados del genotipo PH-16.

Fuentes de Variación	Granos crudos			Granos fermentados		
	pH	Acidez Total meq NaOH 100 g ⁻¹	Índice de Pigmentos	pH	Acidez Total meq NaOH 100 g ⁻¹	Índice de Pigmentos
	Cuadrado Medio					
Sitios ¹	0.06**	0.52**	0.20**	0.30**	3.89**	0.18**
Error	0.01	0.10	0.01	0.02	0.54	0.03
CV (%)	2.2	5.9	10.5	2.6	10.4	20.9
Sitios ¹	Promedio ± Desviación Estándar (n = 3)					
01 LAd cam	5.5 ± 0.2 ^b	5.1 ± 0.2 ^b	1.0 ± < 0.1 ^b	5.6 ± 0.2 ^c	7.6 ± 0.4 ^a	1.0 ± 0.1 ^a
02 PVAd	5.4 ± 0.1 ^c	5.4 ± 0.2 ^b	1.4 ± 0.1 ^a	5.8 ± < 0.1 ^b	6.1 ± 1.1 ^b	1.2 ± 0.2 ^a
03 PVAd	5.5 ± 0.2 ^b	5.3 ± 0.2 ^b	0.8 ± < 0.1 ^c	5.6 ± < 0.1 ^c	7.3 ± 0.2 ^a	1.0 ± < 0.1 ^a
04 LAd	5.2 ± 0.1 ^d	5.3 ± 0.2 ^b	0.9 ± < 0.1 ^c	5.4 ± < 0.1 ^d	7.6 ± 0.5 ^a	1.0 ± 0.1 ^a
05 LVAd	5.5 ± 0.1 ^b	5.4 ± < 0.1 ^b	0.9 ± < 0.1 ^c	6.0 ± 0.2 ^b	6.5 ± 0.8 ^a	0.8 ± 0.1 ^b
06 PVAe cam	5.5 ± < 0.1 ^b	6.2 ± 0.1 ^a	1.4 ± < 0.1 ^a	5.4 ± 0.1 ^d	7.1 ± 0.4 ^a	0.6 ± < 0.1 ^b
07 CXd	5.7 ± < 0.1 ^a	5.2 ± 0.4 ^b	1.0 ± < 0.1 ^b	5.3 ± 0.1 ^d	7.6 ± 1.0 ^a	0.6 ± 0.1 ^b
08 LVAd arg	5.4 ± 0.2 ^c	5.9 ± 0.7 ^a	1.1 ± 0.1 ^b	5.2 ± 0.2 ^d	8.8 ± 0.1 ^a	0.4 ± < 0.1 ^b
09 PAd lat	5.7 ± 0.2 ^a	5.9 ± 0.2 ^a	1.3 ± < 0.1 ^a	6.3 ± 0.2 ^a	4.2 ± 0.5 ^c	0.5 ± 0.2 ^b
10 PVAd	5.6 ± < 0.1 ^b	5.3 ± 0.4 ^b	1.5 ± 0.3 ^a	5.7 ± < 0.1 ^b	6.7 ± 0.7 ^a	0.8 ± 0.3 ^b
11 PVA ali	5.7 ± < 0.1 ^a	5.1 ± 0.1 ^b	0.8 ± 0.1 ^c	5.7 ± 0.2 ^c	7.5 ± 1.3 ^a	0.5 ± 0.1 ^b
12 PVAd coe	5.5 ± 0.1 ^b	4.6 ± 0.4 ^b	0.9 ± 0.1 ^b	5.3 ± 0.1 ^d	8.0 ± 0.7 ^a	0.8 ± 0.3 ^b
	Muestra General (n = 36)					
Valor mínimo	5.2	4.4	0.7	5.0	3.8	0.3
Promedio ± DE	5.5 ± 0.2	5.4 ± 0.5	1.1 ± 0.3	5.6 ± 0.3	7.1 ± 1.3	0.8 ± 0.3
Valor máximo	5.9	6.7	1.7	6.5	8.9	1.5

¹Sitios de cultivo caracterizados por tipos de suelos: 1 LAd cam - Latosol Rojo Distrófico cambisólico. 2 PVAd - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico típico. 3 PVAd - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico abruptico. 4 LAd - Latosol Amarillo Distrófico típico. 5 LVAd - Latosol Rojo-Amarillo Distrófico típico. 6 PVAe cam - Argisol Rojo-Amarillo Eutrófico cambisólico. 7 CXd - Cambisol Háptico Distrófico típico. 8 LVAd arg - Latosol Rojo-Amarillo Distrófico argisólico. 9 PAd lat - Argisol Amarillo Distrófico latosólico. 10 PVAd - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico. 11 PVA ali - Argisol Rojo-Amarillo Alítico típico. 12 PVAd coe - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico-cohesivo abruptico. GL Grados de Libertad. CV Coeficiente de Variación. DE Desviación estándar. Los niveles de significación para el análisis de la prueba F: (**) Error del 1 %.

se evalúa en los granos crudos (Schwan y Wheals 2004). Después de la fermentación, el endospermo presentó un pH promedio de 5.6 (Tabla 3). El pH es un atributo importante de calidad, debido a que puede indicar exceso de acidez en los granos fermentados, lo que reduce la calidad sensorial (Loureiro *et al.* 2016). Valores de pH entre 4.0 y 5.0 pueden reflejar una acidez excesiva, con granos cacao con bajo potencial de sabor y exceso de ácido láctico (Lopez 1986). Durante la fermentación, ocurre una disminución del pH, con valores de pH al final de la fermentación de 5.5 (Wood 1978), considerándose como ideales para los granos de cacao fermentados valores de pH entre 5.0 y 5.5 (Amin *et al.* 2002). Mientras que el pH óptimo para cacao de calidad debe encontrarse entre 5.0 y 5.4, lo que indica que pH menores de 5.0 indican la presencia de ácidos volátiles indeseables para el desarrollo del

aroma y sabor del cacao (Loureiro *et al.* 2016). El pH promedio de granos de cacao fermentados tuvo valores mayores de 5.0, lo que indica que los valores de los granos de cacao evaluados se encuentran en los valores óptimos de calidad (Loureiro *et al.* 2016). Por lo que destacan los valores de pH de los sitios 9 - Argisol Amarillo Distrófico latosólico (6.3 ± 0.2) y 2 - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico típico (5.8 ± 0.1).

El índice de pigmentos de los granos es un atributo que evalúa el grado de fermentación a partir del cambio de coloración por la degradación de los fenoles y las antocianinas. La persistencia del color violeta indica una fermentación incompleta de los granos. Valores superiores a 1 indican que los granos no fueron bien fermentados (Gourieva y Tsevitinov 1979). El promedio general del índice de pigmentos de los granos fermentados fue de 0.8 (Tabla 3),

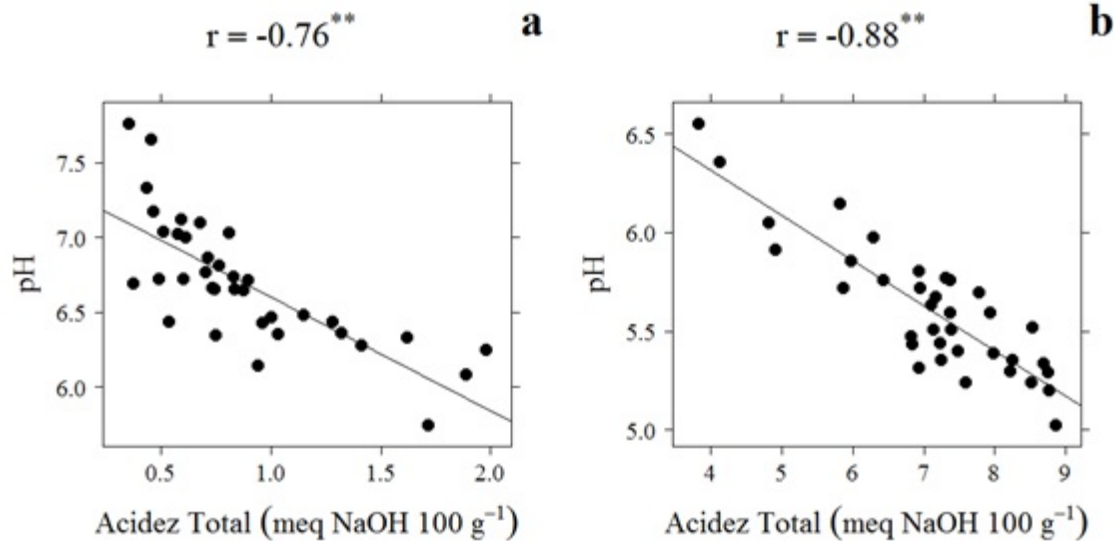


Figura 1. Correlación entre el pH y la acidez total: (a) masa de granos de cacao fermentada; (b) endospermos de los granos del cacao fermentados. Clon de cacao PH-16. (r = Coeficiente de correlación lineal de Pearson; $**$ Nivel de significación del 1 % de error; $n = 36$).

por lo que valores menores del índice de pigmentos representan muestras de grano adecuadamente fermentados, como en los sitios: 8 - Latosol Rojo-Amarillo Distrófico argisólico ($0.4 \pm < 0.1$), 11 - Argisol Rojo-Amarillo Alítico típico (0.5 ± 0.1), 9 - Argisol Amarillo Distrófico latosólico (0.5 ± 0.2), 6 - Argisol Rojo-Amarillo Eutrófico cambisólico ($0.6 \pm < 0.1$), 7 - Cambisol Háptico Distrófico típico (0.6 ± 0.1), 5 - Latosol Rojo-Amarillo Distrófico típico (0.8 ± 0.1), 10 - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico (0.8 ± 0.3), 12 - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico-cohesivo abruptico (0.8 ± 0.3). Se observa que estos sitios están geográficamente localizados al sur con coeficientes de variación del 20.9 %, lo que indica que la localización geográfica afecta el índice de pigmentos. Así como el pH, indica la concentración total de ácidos libres (Efraim *et al.* 2010). La industria del chocolate espera un rango de acidez total entre 12 y 15 meq NaOH por 100 g de granos secos (Loureiro *et al.* 2016). Al respecto se sabe que la acidez total titulada en los granos del cacao aumenta con los días de fermentación (Efraim *et al.* 2010). Los sitios de cultivo con los menores promedios de acidez total fueron: 2 - Argisol Rojo-Amarillo Distrófico

típico (6.1 ± 1.1 meq NaOH 100 g⁻¹) y 9 - Argisol Amarillo Distrófico latosólico (4.2 ± 0.5 meq NaOH 100 g⁻¹). Pero se observa que los endospermos del genotipo de cacao PH-16 fermentado presentan poca variación en su contenido de acidez total (CV = 10.4 %) con promedio de 7.1 meq NaOH 100 g⁻¹. Se observaron bajos coeficientes de variación del pH de los endospermos de los granos crudos y fermentados. La correlación significativa negativa entre el pH y la acidez total (Figura 1b) de los endospermos de los granos fermentados ($r = -0.88$; $p \leq 0.05$), coincide con lo reportado por Efraim *et al.* (2010) y Loureiro *et al.* (2016).

Las características químicas que más reflejan la influencia del medio ambiente sobre el beneficio del cacao son el pH y la acidez total de los granos de cacao, y el pH, acidez total e índice de pigmentos del endospermo de los granos fermentados. El sitio Argisol Amarillo Distrófico latosólico con el sistema Cabruca y densidad media de 35 árboles de sombra por hectárea, presentó las mejores características químicas de calidad de cacao.

LITERATURA CITADA

- Afoakwa EO (2010) Chocolate science and technology. Chocolate science and technology. Wiley-Blackwell. Oxford. 536p.
- Afoakwa EO, Quao J, Takrama J, Budu AS, Saalia FK (2013) Chemical composition and physical quality characteristics of Ghanaian cocoa beans as affected by pulp pre-conditioning and fermentation. *Journal of Food Science and Technology* 50: 1097-1105.
- Amin I, Jinap S, Jamilah B, Harikrisna K, Biehl B (2002) Analysis of vicilin (7S)-class globulin in cocoa cotyledons from various genetic origins. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82: 728-732.
- Araujo QR, Fernandes CAF, Ribeiro DO, Efraim P, Steinmacher D, Lieberei R, et al. (2014) Cocoa Quality Index - a Proposal. *Food Control* 46: 49-54.
- Horwitz W, Latimer GW (2005) Association of Official Analytical Chemists Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 18th ed. AOAC. Gaithersburg, Maryland. 3000p.
- Badrie N, Bekele F, Sikora E, Sikora M (2015) Cocoa agronomy, quality, nutritional, and health aspects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55: 620-659.
- Cruz JFM, Bacelar LP, Eduardo SS, Silva BE (2013) Assessment of the fermentative process from different cocoa cultivars produced in Southern Bahia, Brazil. *African Journal of Biotechnology* 12: 5218-5225.
- Efraim P, Pezoa-García NH, Jardim DCP, Nishikawa A, Haddad R, Eberlin MN (2010) Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. *Ciência e Tecnologia de Alimentos* 30 (Supl.1): 142-150.
- FAO (2017) FAOSTAT. Food and agriculture data. Production quantities of cocoa, beans by country. Average 1994-2014. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Fecha de consulta 16 de marzo de 2017.
- Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA (2015) ExpDes: Experimental designs package. R package version 1.1.2. R: The R Project for Statistical Computing. 42p. <http://cran.r-project.org/web/packages/ExpDes/ExpDes.pdf>. Fecha de consulta 02 de noviembre de 2016.
- Fletcher TD (2015) Package QuantPsys. R package version 1.5. R: The R Project for Statistical Computing. 26p. <http://cran.r-project.org/web/packages/QuantPsys/QuantPsys.pdf>. Fecha de consulta 02 de noviembre de 2016.
- Gourieva MB, Tserevitinov OB (1979) Methods for evaluating the degree of fermentation of cocoa beans. USSR. Patent No. 646.
- Gross J, Ligges U (2015) Package "nortest". Tests for normality. R package version 1.0-4. R: The R Project for Statistical Computing. 10p. <https://cran.r-project.org/web/packages/nortest/nortest.pdf>. Fecha de consulta 02 de noviembre de 2016.
- ICCO (2012) International Cocoa Organization. The world cocoa economy. ICCO. London. United Kingdom. 32p.
- Lobão DE, Setenta WC, Lobão ESP, Curvelo K, Valle RR (2007) Cacao cabruca - sistema agrossilvicultural tropical. In: Valle RR (ed.) *Ciência, tecnologia e manejo do cacauero*. Gráfica e Editora Vital. Itabuna, Bahia. pp: 290-323.
- Lopes UV, Monteiro WR, Pires JL, Clement D, Yamada MM, Gramacho KP (2011) Cacao breeding in Bahia, Brazil - strategies and results. *Crop breeding and applied biotechnology* S1: 73-81.

- Lopez AS (1986) Chemical changes occurring during the processing of cacao. In Symposium Cacao Biotechnology. University Park. The Pennsylvania State University. pp: 19-54.
- Loureiro GAHA, Araujo QR, Sodr e GA, Valle RR, Souza Jr JO, Ramos EMLS, et al. (2016) Cacao quality: Highlighting selected attributes. *Food Reviews International* 33: 382-405.
- Monteiro WR, Ahnert D (2012). Melhoramento genético do cacau. En: Valle RR (ed.) Ciência, tecnologia e manejo do cacau. MAPA. Brasília, DF. pp: 1-29.
- Muniz MRA, Silveira RLVA, Santos PSR, Malta A, Sorice LSD (2013) Exporta o de nutrientes pelos frutos de cacau de diferentes clones cultivados nas Fazendas Reunidas Vale do Juliana. *Addubare RR Agroflorestal* 24: 5-9.
- Penha EM, Matta VM (1998) Caracteristicas fisico-químicas e microbiológicas da polpa de cacau. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 33: 1945-1949.
- Santos HG dos, Jacomine PKT, Anjos LHC dos, Oliveira V  de, Lumbreras JF, Coelho MR, et al. (2013). Sistema Brasileiro de Classifica o de Solos. 3^a ed. Embrapa. Brasília, Brasil. 353p.
- Sarkar D (2016) Lattice: Multivariate data visualization with R. R package version 0.20-34. R: The R Project for Statistical Computing. 157p. <http://cran.at.r-project.org/web/packages/lattice/lattice.pdf>. Fecha de consulta 02 de noviembre de 2016.
- Schwan RF, Wheals AE (2004) The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44: 205-221.
- SEI (1998) Superintendência de estudos Econ micos e sociais da Bahia. Tipologia climática - Segundo Thornthwaite - Pluviometria 1943-1983 / Temperatura 1961 - 1990 - Estado da Bahia. http://www.sei-ba.gov.br/site/geoambientais/cartogramas/pdf/carto_tip_clim.pdf. Fecha de consulta 2 de noviembre de 2016.
- Wood GAR (1978) Markets for fine flavour versus bulk cocoas. *Cocoa Growers' Bulletin* 27: 5-11.
- Wood GAR, Lass RA (2008) *Cocoa*. 4th ed. Wiley-Blackwell. Longman. London. 620p.