

## Bromatological characterization of cocoa shell (*Theobroma cacao*), from seven cantons of the Amazonia, Ecuador

### Caracterización bromatológica de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao*), procedente de siete cantones de la Amazonia, Ecuador

Ana L. Chafla<sup>1</sup>, Zoraya Rodríguez<sup>2</sup>, R. Boucourt<sup>2</sup> and Verena Torres<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Estatal Amazónica, km. 2½, vía Puyo - Tena (Paso Lateral), Ecuador

<sup>2</sup>Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

Email: [achafla@uea.edu.ec](mailto:achafla@uea.edu.ec)

In order to determine the variability of the bromatological composition of cocoa shells between Amazonia cantons, seven cantons were selected and, from each of them, three farms, according to their production and edaphoclimatic characteristics. For sampling, the "five points" method for plots lower than ten hectares was applied. Statistical relations by analysis of principal components and cluster were analyzed. The total variance indicated that with three principal components which was possible to explain 85.03% of the total variability. The principal component 1 (crude fiber, ether extract and nitrogen-free extract) was identified with the "energetic component", and explained 39.35% of the system variance. The principal component 2 (dry matter and ash) corresponded to the mineral component, and explained 26.2%. The principal component 3 was identified with the crude protein and explained 19.05%. The cut made in the dendrogram to interrupt the forming groups process, ranged 2.52, allowed to join four groups: 1) comprising three cantons, characterized by a slight increase of dry matter and ash (90.30 and 9.09%); 2) a canton, with increase of ether extract, nitrogen-free extract and lower crude fiber content (3.61, 57.41, 21.95%); 3) two cantons, with crude protein increase of 8.97% and 4) two cantons with higher crude fiber content (24.93%). It is concluded that the bromatological composition of cocoa shells, from the seven cantons of the Amazonia, can be mainly differentiated by the contents of ether extract, nitrogen-free extract and crude fiber, but remains in the range described in the literature, so they would be good alternatives as substrates in the solid state fermentation processes.

Key words: *cocoa shell, energetic component, dendrogram.*

Ecuador is a country of biodiversity, thanks to its geographical location and its edaphoclimatic characteristics. Its economy is based on agriculture, mainly in cocoa production, which in 2014 recorded an export of 235,000 metric tons (Moncayo 2016). Of the national surface, 8.86% corresponded to the northern Amazonia region, with 44,300 ha, of these 83% of the surface corresponds to national cocoa or creole and the remaining, 17% to other types of trinitarian cocoa (Cuvi *et al.* 2013).

Experts in cocoa production determined that in this exploitation only 10% of the fresh fruit weight is used, 90% corresponded to waste products, such as cocoa shell which represents 75% of the total weight of the harvested pods (González and Jaimes 2005, Barazarte *et al.* 2008).

The large volumes of waste generated in the cocoa

Para determinar la variabilidad de la composición bromatológica de las cáscaras de cacao entre cantones de la Amazonia se seleccionaron siete cantones y, de cada uno, tres fincas, de acuerdo a su producción y características edafoclimáticas. Para la toma de muestras se aplicó el método "cinco de oro" para parcelas menores de diez hectáreas. Se analizaron relaciones estadísticas mediante análisis de componentes principales y conglomerados. La varianza total indicó que con tres componentes principales fue posible explicar 85.03 % de la variabilidad total. La componente principal 1 (fibra bruta, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno) se identificó con el "componente energético", y explicó 39.35 % de la varianza del sistema. La componente principal 2 (materia seca y ceniza) correspondió al componente mineral, y explicó 26.2 %. La componente principal 3 se identificó con la proteína bruta y explicó 19.05 %. El corte realizado en el dendrograma para interrumpir el proceso de conformación de los grupos, a distancia de 2.52 permitió aunar cuatro grupos: 1) compuesto por tres cantones, caracterizados por un ligero incremento de la materia seca y ceniza (90.30 y 9.09 %); 2) un cantón, con incremento de extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y menor contenido de fibra cruda (3.61, 57.41, 21.95 %); 3) dos cantones, con incremento en proteína bruta de 8.97 % y 4) dos cantones con mayor contenido de fibra bruta (24.93 %). Se concluye que la composición bromatológica de las cáscaras de cacao, procedentes de los siete cantones de la Amazonia, se puede diferenciar fundamentalmente por los contenidos de extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y fibra bruta, aunque se mantiene en el rango descrito en la literatura, por lo que serían buenas alternativas para sustratos en los procesos de fermentación en estado sólido.

Palabras clave: *cáscara de cacao, componente energético, dendrograma*

Ecuador es un país de biodiversidad, gracias a su ubicación geográfica y a sus características edafoclimáticas. Basa su economía en el sector agropecuario, principalmente en la producción de cacao, que para el 2014 registró una exportación de 235 000 toneladas métricas (Moncayo 2016). De la superficie nacional, 8.86 % correspondió a la región norte de la Amazonia, con 44 300 ha, de estas 83 % de la superficie corresponde a cacao nacional o criollo y el restante, 17 % a otros tipos de cacao trinitario (Cuvi *et al.* 2013).

Expertos en la producción cacaotera determinaron que en esta explotación solo se aprovecha un 10 % del peso del fruto fresco, 90 % corresponde a productos de desecho, como la cáscara de cacao que representa 75 % del peso total de las mazorcas cosechadas (González and Jaimes 2005, Barazarte *et al.* 2008).

industry are translated into environmental problems. Among them we can cite the foul- smelling appearance, lixivate generation that filter into the ground and contaminate the soil, due to the high ammonia nitrogen concentrations, disposal problems to the environment, since it facilitates the culture medium for the spread of *Phytophthora sp.* fungus, the main cause of economic losses in the cocoa activity (Hernandez *et al.* 2014).

This has led to the development of several studies, in order to increase the commercial value and diversify the use of cocoa shells, which are commonly used in soil recovering and as input for animal feeding (Oddoye *et al.* 2010).

These strategies are of great importance, if are considered as an alternative for livestock production, especially in the Amazon region, specifically in Pastaza and Napo, areas with low production, due to weather conditions which is extremely rainy, with infertile soils, susceptible to nutrient leaching and erosion (Bravo *et al.* 2015). Therefore, the objective of this study was to determine the variability of the bromatological composition of cocoa shells between Amazonia cantons, for later use as a substrate in biotechnological processes that modify their nutritional value.

### Materials and Methods

*Procedure for sampling.* Samples of cocoa, Criollo variety, were taken in five cantons of Pastaza province, one from Napo and Morona Santiago, belonging to the Amazon region. This area is characterized by annual average temperature, which range between 24 and 30 °C, average rainfall of 3000 mm and average relative humidity of 85-90%. Samples were collected from three farms per canton, according to their production and edaphoclimatic characteristics, representing 24 samples in total. In the case of Santa Clara Canton, sampling was conducted in two sectors located in different edaphoclimatic zones, which also differ by their agronomical management. For sampling the fruits, in each farm the five points methodology was applied, proposed by Navarro *et al.* (2011). Healthy and ripe fruits were taken, with an average weight of  $478.94 \pm 95$  g per pod, to which the seed was extracted. The color table (Korneup and Wonscher 1981) was used. The residual shell was identified and stored in bags for transport to the laboratory.

*Sample processing.* Samples were milled until reached a particle size of 0.5 to 1 cm, in a crusher Jf 10-D. They were dried in oven at 65 °C for 48 h. Then, a spray dried material was performed. From the meals, 100 g by applying the quartering method were taken. To the dehydrated wastes, there was determined the content of dry matter (DM), ash (As), crude protein (CP), crude fiber (CF), ether extract (EE) and nitrogen-free extract (NFE) by standard methods (AOAC 2004).

Los grandes volúmenes de desecho que se generan de la industria del cacao se convierten en problemas ambientales. Entre ellos se puede citar la aparición de olores fétidos, la generación de lixiviados que se filtran en la tierra y contaminan el suelo, debido a las altas concentraciones de nitrógeno amoniacal, los problemas de disposición al ambiente, ya que se facilita el medio de cultivo para la propagación del hongo *Phytophthora sp.*, causa principal de pérdidas económicas en la actividad cacaotera (Hernández *et al.* 2014).

Esto ha originado el desarrollo de varios estudios, con el propósito de aumentar el valor comercial y diversificar el uso de las cáscaras de cacao, que se emplean habitualmente en la recuperación de suelos y como insumo para la alimentación animal (Oddoye *et al.* 2010). Estas estrategias son de gran importancia, si se consideran como una alternativa para la producción pecuaria, sobre todo en la región amazónica, específicamente en Pastaza y Napo, zonas que presentan baja producción, debido a las condiciones del clima que es extremadamente lluvioso, con suelos poco fértiles, susceptibles al lavado de nutrientes y a la erosión (Bravo *et al.* 2015). Por ello, el objetivo de este estudio fue determinar la variabilidad de la composición bromatológica de las cáscaras de cacao entre cantones de la Amazonia, para su posterior empleo como sustrato en procesos biotecnológicos que modifican su valor nutricional.

### Materiales y Métodos

*Procedimiento para la toma de muestras.* Se tomaron muestras de cacao, de la variedad Criollo, en cinco cantones de la provincia Pastaza, uno de Napo y Morona Santiago, pertenecientes a la región amazónica. Esta zona se caracteriza por su temperatura anual promedio, que oscila entre 24 y 30 °C, precipitación promedio de 3000 mm y humedad relativa promedio de 85 a 90 %. Las muestras se recolectaron de tres fincas por cantón, de acuerdo con su producción y características edafoclimáticas, lo que representa 24 muestras en total. En el caso del Cantón Santa Clara, se realizó la toma de muestra en dos sectores situados en diferentes zonas edafoclimáticas, que difieren además por su manejo agronómico. Para el muestreo de los frutos, en cada finca se aplicó la metodología cinco de oro, propuesta por Navarro *et al.* (2011). Se tomaron frutos sanos y maduros, con peso promedio de  $478.94 \text{ g} \pm 95$  por mazorca, a los que se extrajo la semilla. Se usó la tabla de color (Korneup and Wonscher 1981). La cáscara residual se identificó y se almacenó en sacos para su traslado al laboratorio.

*Procesamiento de la muestra.* Las muestras se molieron hasta alcanzar un tamaño de partícula de 0.5 a 1 cm, en una trituradora marca JF 10-D. Se secaron en estufa a 65 °C durante 48 h. Luego, se realizó una pulverización del material seco. De las harinas, se tomaron 100 g por la aplicación del método de cuarteo. A los residuos deshidratados, se les determinó el contenido de materia seca (MS), ceniza (Cz), proteína bruta (PB),

*Statistical methods.* A principal components analysis (PCA) was conducted to evaluate bromatological variables. From the correlation matrix of the original indicators and with the application of eigenvalues criteria higher or equal to the unit, the principal components were selected which higher variability explained, those with preponderance values close to 0.70, for being value of the accumulated variance of those who reach the first assumption.

*Cluster analysis (CA).* To identify the groups according to their characteristics, the clustering method was used from the Euclidean distance. To define the groups, the cut was made at 2.5. The statistical procedures were performed in the SPSS software, version 22.0 (IBM Corporation 2013).

### Results and Discussion

The principal components analysis (table 1) explains 85.03% of the total variability of the evaluated indicators in the seven cantons.

The variables of higher contribution to the variance with 39.35%, expressed by the first principal component, were the CF percentage, with negative

fibra bruta (FB), extracto etéreo (EE) y extracto libre de nitrógeno (ELN) mediante métodos estándar (AOAC 2004).

*Métodos estadísticos.* Se llevó a cabo análisis de componentes principales (ACP) para evaluar las variables bromatológicas. A partir de la matriz de correlación de los indicadores originales y con la aplicación del criterio de valores propios mayores o iguales a la unidad, se seleccionaron las componentes principales que mayor variabilidad explicaron, aquellas con valores de preponderancia cercanos a 0.70, por ser valor de la varianza acumulada de las que cumplen el primer supuesto.

*Análisis de conglomerados (AC).* Para identificar los grupos según sus características, se utilizó el método de agrupación a partir de la distancia euclidiana. Para definir los grupos, el corte se realizó en 2.5. Los procedimientos estadísticos se realizaron en el software SPSS, versión 22.0 (IBM Corporation 2013).

### Resultados y Discusión

El análisis de componentes principales (tabla 1) explicó 85.03 % de la variabilidad total de los indicadores evaluados en los siete cantones.

Table 1. Variables with higher association that constitutes the principal components and explains the performance of the bromatological composition

Variables	Component		
	Energy	Mineral	Protein
Dry matter	0.18	0.69	-0.48
Ash	0.01	0.85	0.26
Crude protein	0.07	0.05	0.90
Crude fiber	-0.96	-0.18	-0.16
Ether extract	0.72	-0.54	0.21
NFE	0.93	0.07	-0.21
Total	2.36	1.60	1.14
% of variance	39.35	26.62	19.05
% accumulated	39.35	65.98	85.03

value, and the rest of variables with positive values, EE and NFE. These results can be interpreted as a component, whose percentages are associated with the energy characteristics of cocoa residual, and which have high values in these variables. The negative values in the CF percentage, associating component variables, indicate that a higher percentage of this indicator, reduces the energy content of the residual (Cruz and Sánchez 2000).

The variability in these indicators could be related to the climatic conditions of the areas under study, such as solar radiation, which leads to energy processes. Gomez (2002), when determining the effect of different light intensities (20-60%) in gas exchange and criole cacao development, obtained statistical differences in the leaves size, internodes length and DM.

Las variables de mayor contribución a la varianza con 39.35 %, expresadas por el primer componente principal, fueron el porcentaje de FB, con valor negativo, y el resto de las variables con valores positivos, EE y ELN. Estos resultados se pueden interpretar como un componente, cuyos porcentajes están asociados con las características energéticas del residual cacaotero, y que tienen valores elevados en estas variables. El valor negativo en el porcentaje de FB, asociándolo a las variables del componente, indicaría que un mayor porcentaje de este indicador, reduce el contenido energético del residual (Cruz and Sánchez 2000).

La variabilidad en estos indicadores pudo estar relacionada con las condiciones climáticas de las zonas en estudio, como la radiación solar, que da lugar a los procesos energéticos. Gómez (2002), al determinar el

According to INAMHI (2013), cocoa crops require light percentages between 55 and 70%, heliophany 4 h/d, 800-1000 h/d per year.

Temperature, another factor which affects the crop variability, when it increases, modifies the phenological phases of the plant. The short cycles of high or low temperatures may affect flower buds, flowering, number of grains, grain weight and, thereby, yields (Chmielewski *et al.* 2004, Jarma *et al.* 2012). The optimum temperature for cocoa sowing is between 18 and 32 °C (24 °C). When it is lower than 15 °C, it provides few flowers and higher unsaturated salts concentration and if it is higher to 32 °C, its fruits are smaller (INAMHI 2013). This factor could influence on the composition of the sampled cocoa shells. Table 2 shows the temperature differences in each canton. The lower value corresponds to Pomona canton and the highest, to Canelos canton. However, temperature ranges are among the requirements for this plant species.

The relative humidity (RH) also plays an important function in the carbon assimilation: to higher RH, higher will be the assimilation (Pimienta *et al.* 2011). Between the different values of luminosity, RH and temperature, determined in each canton, the highest corresponded to Canelos and Tena cantons (table 2).

In component two (table 1), which explains 26.62% of the variability, the variables of higher contribution were the percentage of DM and As. The As are considered the mineral component which, from the nutritional point of view, it shows a little documented potential, in general sense, of the agricultural wastes for animal feeding. The variability in these indicators is related to rainfall and soil quality, which is a comprehensive indicator of sustainable agricultural ecosystems (Harrier and Watson 2003). In Pastaza

efecto de diferentes intensidades de luz (20 a 60 %) en el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo, obtuvo diferencias estadísticas en el tamaño de hojas, longitud de entrenudos y MS. Según el INAMHI (2013), los cultivos de cacao requieren porcentajes de luz entre 55 y 70 %, heliofanía de 4 h/d, 800-1000 h/d al año.

La temperatura, otro factor climático que afecta la variabilidad del cultivo, cuando esta aumenta, modifica las fases fenológicas de la planta. Los ciclos cortos de altas o bajas temperaturas pueden afectar las yemas florales, floración, número de granos, peso de granos y, con ello, los rendimientos (Chmielewski *et al.* 2004, Jarma *et al.* 2012). La temperatura óptima para el cultivo de cacao se halla entre 18 y 32 °C (24°C). Cuando es menor de 15 °C, proporciona pocas flores y mayor concentración de sales insaturadas y si es superior a 32° C, sus frutos son más pequeños (INAMHI 2013). Este factor pudo influir en la composición de las cáscaras de cacao muestreadas. En la tabla 2 se presentan las diferencias de temperatura en cada cantón. El menor valor correspondió al cantón Pomona y el mayor, al Canelos. Sin embargo, los rangos de temperatura determinados se encuentran entre los requerimientos de esta especie de planta.

La humedad relativa (HR) también desempeña una función muy importante en la asimilación de carbono: a mayor HR, superior será la asimilación (Pimienta *et al.* 2011). Entre los diferentes valores de luminosidad, HR y temperatura, determinados en cada cantón, los más altos correspondieron a los cantones de Canelos y Tena (tabla 2).

En el componente dos (tabla 1), que explica 26.62 % de la variabilidad, las variables de mayor contribución fueron el porcentaje de MS y Cz. Las Cz se consideran el componente mineral que, desde el punto de vista nutricional, demuestra un potencial poco documentado, en sentido general, de los residuos agrícolas para la alimentación animal. La variabilidad en estos indicadores

Table 2. Edaphoclimatic characteristics of the sampling areas

Sampling area	Production (Ha)	Heliophany Hours/ light	Humidity (%)	Temperature (°C)	Precipitation (mm)	Type of soil	Climate typology
Arajuno	200	1029.3	86.15	24-25 °C	3900	Oxic Dystrandept	THF ( tropical humid forest)
Canelos	54.5	1001.5	88.3	25-28 °C	4800	Tropofibrist Hydraquent	HRF ( humid rainy forest)
El Triunfo	22	1000	84.71	23-24 °C	4150	Typic Dystrandept	PHF (premontane humid forest)
Pomona	22	980.87	86.54	20-21 °C	4200	Tropofibrist Hydraquent	PHF (premontane humid forest)
Santa Clara (A)	51	1003.3	87.02	23-24 °C	4500	Vertic Tropaquept	TVHF (tropical very humid forest)
Santa Clara (B)	18	1100	84.93	26-28 °C	3800	Typic Tropaquepts	THF (tropical humid forest)
Tena	130	1208.1	84.8	24-29 °C	4350	Typic Pellustert	HRF (Humid rainy forest)
Macas	75	1198.6	72.67	22-23 °C	2480	Tropofibrist Hydraquent	PHF (premontane humid forest )

Source: (Soil Survey Staff 1999, INEC 2011)

province, are different soil types (table 2), characterized by low fertility and mineral deficiency, in addition to physical problems, not structure defined and high humidity saturation, although they have high level of organic matter, due to the higher rainfall of this region (Martin and Pérez 2009).

The third component (table 1), which was identified with the protein (19.05%) influence on the CP percentage. The indicator variability might be affected by the crop fertilization, as Carvajal (1984) pointed out, when determining that the potassium absorption in the plant increases under nitrogen and, therefore, increases the protein and the adenosine triphosphate (ATP).

The adequate nitrogen supply determines, largely, the plant growth, which is manifested by leaf area increase and net photosynthesis (Flores *et al.* 2012).

The cut made in the dendrogram to interrupt the groups formation process, at 2.52 of distance (figure 1), allowed to combine four groups. Group 1 consisted of three cantons (Arajuno, Santa Clara A and Triunfo), characterized by slight increase in DM and As with respect to others, except group 2, which was very similar in DM content (table 3). In this, a canton (Santa Clara B) differed by the slight increase in the percentage of EE, NFE and lower CF content. This sampling area presented edaphoclimatic characteristics different to Santa Clara A. In addition, 67% of sampled crops belonged to experimental areas with advanced crop management. In group 3, two cantons (Pomona and Macas) showed slight increase in the CP percentage. In group 4, two cantons (Canelos and Tena) had higher CF content.

Although there were no higher variations in the bromatological composition from the biological point

se relaciona con la pluviosidad y calidad del suelo, que es un indicador integral de ecosistemas agrícolas sustentables (Harrier and Watson 2003). En la provincia de Pastaza, se encuentran diferentes tipos de suelos (tabla 2), caracterizados por una baja fertilidad y deficiencia mineral, además de problemas físicos, estructura no definida y alta saturación de humedad, aunque poseen alto nivel de materia orgánica, debido a la gran pluviometría de esta región (Martín and Pérez 2009).

El tercer componente (tabla 1), que se identificó con el proteico (19.05 %) influyó en el porcentaje de PB. La variabilidad del indicador se pudo afectar por la fertilización del cultivo, como señala Carvajal (1984), al determinar que la absorción de potasio en la planta aumenta en presencia de nitrógeno y, por tanto, incrementa la proteína y el adenosin trifosfato (ATP). El suministro adecuado de nitrógeno determina, en gran medida, el crecimiento de la planta, que se manifiesta por el aumento del área foliar y la fotosíntesis neta (Flores *et al.* 2012).

El corte realizado en el *dendrograma* para interrumpir el proceso de conformación de los grupos, a distancia de 2.52 (figura 1), permitió aunar cuatro grupos. El uno estuvo compuesto por tres cantones (Arajuno, Santa Clara A y Triunfo), caracterizados por ligero incremento en MS y Cz con respecto a los demás, excepto el dos, que fue muy similar en el contenido de MS (tabla 3). En este, un cantón (Santa Clara B) se diferenció por el incremento leve del porcentaje de EE, ELN y menor contenido de FB. Esta zona de muestreo presentó características edafoclimáticas diferentes a la de Santa Clara A. Además, 67 % de los cultivos muestreados pertenecía a áreas experimentales con manejo tecnificado del cultivo. En el grupo 3, dos cantones (Pomona y Macas) presentaron ligero incremento en el porcentaje de PB. En el 4, dos cantones (Canelos y Tena) tuvieron mayor contenido de FB.

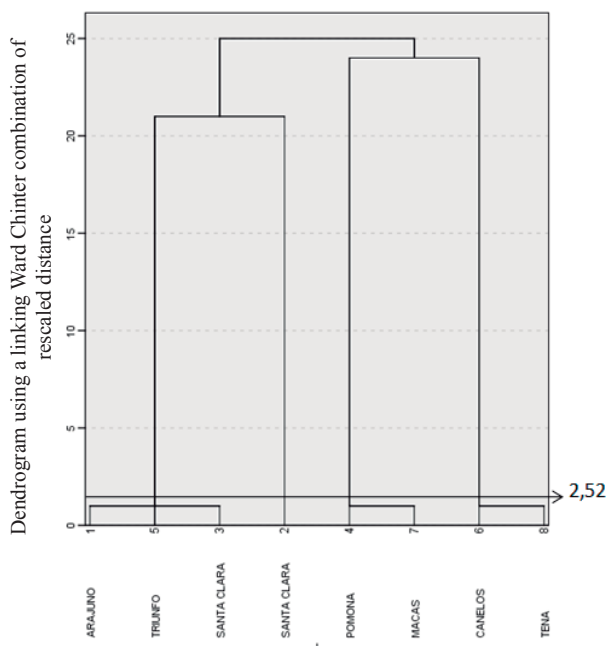


Figure 1. Dendrogram of similarity between cantons

Table 3. Groups of cantons formed by cluster analysis from the three principal components, with their corresponding variables

Indicators	Arajuno, S. Clara (a), Triunfo		S. Clara (b)	Pomona, Macas		Canelos, Tena	
	Mean	SD	Mean	Mean	SD	Mean	SD
DM	90.30	0.50	90.22	89.72	0.17	89.74	0.07
As	9.09	0.38	8.51	8.65	0.25	8.35	0.11
CP	8.70	0.07	8.52	8.97	0.01	8.59	0.10
CF	23.43	0.48	21.95	23.08	0.86	24.93	0.40
EE	2.68	0.06	3.61	3.34	0.28	2.87	0.19
NFE	56.09	0.75	57.41	55.97	0.33	55.27	0.42

SD. Standard deviation

of view, the Santa Clara (B) canton had higher energy content, an important characteristic for a substrate destined to biotechnological processes as the solid state fermentation (SSF) (Saval 2012). The cantons from group 1 had an intermediate performance. The groups 3 and 4 showed the most modest results. However, all can be used as a supplementary source of minerals and proteins, mainly for SSF processes. According to Rivas *et al.* (2011), the energy content in wastes is important, when it is used as a substrate for fermentation processes, because they must provide the nutrients and energy necessary to support microbial growth. It is important especially carbon-nitrogen relation, which should be between 20 and 30 parts of the first element per each of the second one, because it affects the efficiency of energy conversion.

When comparing the results with those reported by Abarca *et al.* (2010), Aguilar (2011), Ovaco and Pineda (2011), who analyzed cocoa shells belonging to Cone and Taura cantons, the obtained values were lower in CP, EE and NFE, and higher in DM, As and CF. However, it is not correct to attribute the variations of the bromatological composition to the edaphoclimatic conditions which prevail in the study areas, as these were not controlled. There are necessary other studies which deal in these aspects in an integral way. In both cases, it was worked with the same cocoa variety and similar analytical methods were used, but it would be necessary to know other factors inherent to the plant, aspect that in most of cases is the main source in the results variation.

It is known that the maturity degree of the plant, samples collection method, type of drying and the analytical standards used have marked influence on determining the chemical composition of the plant material (Crescente *et al.* 1999, Angulo *et al.* 2001, Ardila and Carreño 2011, Sanchez 2013), aspects that were monitored during this study.

The PCA was a useful statistical tool to group the cantons, which was to maximize homogeneity in the groups and heterogeneity between them. However, according to Cabrera *et al.* (2004), the higher degree of heterogeneity that often exists between the samples that form a population, difficult decision.

Aunque no hubo grandes variaciones en la composición bromatológica desde el punto de vista biológico, el cantón Santa Clara (B) tuvo superior contenido energético, característica importante para un sustrato destinado a procesos biotecnológicos como la fermentación en estado sólido (FES) (Saval 2012). Los cantones del grupo 1 tuvieron un comportamiento intermedio. El 3 y 4 exhibieron los resultados más discretos. No obstante, todos se pueden emplear como fuente suplementaria de minerales y proteínas, fundamentalmente para procesos de FES. De acuerdo con Rivas *et al.* (2011), el contenido energético en los residuales es importante, cuando se utiliza como sustrato para procesos de fermentación, pues estos deben proveer los nutrientes y energía necesarios para favorecer el crecimiento microbiano. Es importante sobre todo la relación carbono-nitrógeno, que debe estar entre 20 y 30 partes del primer elemento por cada parte del segundo, ya que repercute en la eficiencia de conversión energética.

Al comparar los resultados con los informados por Abarca *et al.* (2010), Aguilar (2011), Ovaco and Pineda (2011), quienes analizaron cáscaras de cacao perteneciente a los cantones Cone y Taura, los valores obtenidos fueron inferiores en PB, EE y ELN, y superiores en MS, Cz y FB. Sin embargo, es errado atribuir las variaciones de la composición bromatológica a las condiciones edafoclimáticas que prevalecieron en las áreas de estudio, pues estas no se controlaron. Son necesarios otros estudios donde se aborden de manera integral estos aspectos. En ambos casos, se trabajó con la misma variedad de cacao y se emplearon similares métodos analíticos, pero sería necesario conocer otros factores inherentes a la planta, aspecto que en la mayoría de los casos constituye la fuente principal en la variación de los resultados.

Se sabe que el grado de madurez de la planta, el método de recolección de muestras, el tipo de secado y el patrón analítico empleado tienen influencia marcada en la determinación de la composición química del material vegetal (Crescente *et al.* 1999, Angulo *et al.* 2001, Ardila and Carreño 2011, Sánchez 2013), aspectos que se controlaron durante este estudio.

El ACP constituyó una herramienta estadística útil al agrupar los cantones, con lo que se buscó maximizar la homogeneidad en los grupos y la heterogeneidad entre ellos. Sin embargo, según Cabrera *et al.* (2004), el alto

It is concluded that the bromatological composition of cocoa shells from the seven cantons of the Amazonia can be differentiated mainly by the contents of EE, NFE and CB. However, all of them are in the ranges recognized in the literature for this residual, so that could be used as substrates in the SSF processes.

grado de heterogeneidad que con frecuencia existe entre las muestras que conforman una población, dificulta la toma de decisiones.

Se concluye que la composición bromatológica de las cáscaras de cacao procedentes de los siete cantones de la Amazonia se puede diferenciar fundamentalmente por los contenidos de EE, ELN y FB. No obstante, todos se encuentran en los rangos reconocidos en la literatura para este residual, por lo que se podrían utilizar como sustratos en los procesos de FES.

## References

- Abarca, D., Martínez, R., Muñoz, J. J., Torres, M. P. & Vargas, G. 2010. "Residuos de Café, Cacao y Cladodio de Tuna: Fuentes Promisorias de Fibra Dietaria". *Revista Tecnológica - ESPOL*, 23 (2): 63–69, ISSN: 1390-3659.
- Aguilar, P. 2011. Modificación enzimática de la fibra dietaria de la cáscara del cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad complejo nacional por trinitario. Graduated Thesis, Universidad Técnica Particular de Loja, Ecuador.
- Angulo, J., Graziani, L., Ortiz, L. & Parra, P. 2001. "Caracterización física de la semilla de cacao criollo, forastero amazónico y trinitario de la localidad de Cumboto, estado Aragua". *Agronomía Tropical*, 51 (2): 203–219, ISSN: 0002-192X.
- AOAC. 2004. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 19th ed., Gaithersburg, Md.: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-83-7, Available: <[http://www.amazon.com/Official-Methods-Analysis-OFFICIAL-ANALYSIS/dp/0935584838/ref=pd\\_sim\\_sbs\\_14\\_1?ie=UTF8&dpID=31iikC-xl2L&dpSrc=sims&preST=\\_AC\\_UL160\\_SR160%2C160\\_&refRID=101AB94246X0EM9N7XMW](http://www.amazon.com/Official-Methods-Analysis-OFFICIAL-ANALYSIS/dp/0935584838/ref=pd_sim_sbs_14_1?ie=UTF8&dpID=31iikC-xl2L&dpSrc=sims&preST=_AC_UL160_SR160%2C160_&refRID=101AB94246X0EM9N7XMW)>, [Consulted: April 1, 2016].
- Ardila, C. & Carreño, S. 2011. Aprovechamiento de la cáscara de la mazorca de cacao como adsorbente. Graduated Thesis, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Barazarte, H., Sangronis, E. & Unai, E. 2008. "La cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.): una posible fuente comercial de pectinas". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58 (1): 64–68, ISSN: 0004-0622.
- Bravo, C., Benítez, D., Burgos, J. C. V., Alemán, R., Torres, B. & Marín, H. 2015. "Caracterización socio-ambiental de unidades de producción agropecuaria en la Región Amazónica Ecuatoriana: Caso Pastaza y Napo". *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 4 (1): 03–31, ISSN: 1390-8049.
- Cabrera, D., García, A., Acero, R., Castaldo, A., Perea, J. & Martos, J. 2004. "Metodología para la caracterización y tipificación de sistemas ganaderos". *Documentos de trabajo producción animal y gestión*. Universidad de Córdoba, 1 (DT 1): 1–9, ISSN: 1698-4226.
- Carvajal, J. F. 1984. *Cafeto: Cultivo y Fertilización*. 2nd ed., Suiza: Instituto Internacional de Potasa, 254 p., Available: <<http://www.ipipotash.org/es/publications/detail.php?i=65>>, [Consulted: April 23, 2016].
- Chmielewski, F. M., Müller, A. & Bruns, E. 2004. "Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000". *Agricultural and Forest Meteorology*, 121 (1–2): 69–78, ISSN: 0168-1923, DOI: 10.1016/S0168-1923(03)00161-8.
- Crescente, O., Acosta, M., Guevara, M. & Estaba, A. 1999. "Aprovechamiento de los desechos de cacao (*Theobroma cacao* L.)". *Revista Saber*, 11 (2): 28–30, ISSN: 1315-0162.
- Cruz, C. M. M. & Sánchez, G. J. 2000. "La fibra en la alimentación del ganado lechero". *Nutrición Animal Tropical*, 6 (1): 39–74, ISSN: 2215-3527.
- Cuvi, R. M. B., Rodríguez, G. Y., Elena, C. K. M., Asanza, M. & Soria, S. 2013. "Efecto de abonos orgánicos en el cultivo de *Theobroma cacao* L. en vivero del 'Recinto el Capricho', Provincia de Napo, Ecuador". *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología*, 2 (1): 31–40, ISSN: 1390-5600.
- Flores, A. J. de J., Vázquez, R. R., Solano, V. J. J., Aguirre, F. V., Flores, P. F. I., Bahena, G. M. E., Oliver, G. R., Granjeno, C. A. E. & Orihuela, T. A. 2012. "Efecto de fertilizante orgánico, inorgánico y su combinación en la producción de alfalfa y propiedades químicas del suelo". *Terra Latinoamericana*, 30 (3): 213–220, ISSN: 0187-5779, 2395-8030.
- Gómez, A. 2002. Efecto de diferentes intensidades de luz sobre el intercambio gaseoso y desarrollo del cacao criollo guasare. M.Sc. Thesis, Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Universidad de los Andes, Mérida, México.
- González, C. & Jaimes, M. 2005. Desarrollo experimental del proceso para la obtención de jugo derivado del mucilago de cacao (*Theobroma cacao* L.). Graduated Thesis, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.
- Harrier, L. A. & Watson, C. A. 2003. "The role of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable cropping systems". *Advances in Agronomy*, 79: 185–225, ISSN: 0065-2113, DOI: 10.1016/S0065-2113(02)79004-4.
- Hernández, R. A., Ruíz, B. Y., Acebo, G. Y., Miguélez, S. Y. & Heydrich, P. M. 2014. "Antagonistas microbianos para el manejo de la pudrición negra del fruto en *Theobroma cacao* L.: Estado actual y perspectivas de uso en Cuba". *Revista de Protección Vegetal*, 29 (1): 11–19, ISSN: 1010-2752.
- IBM Corporation 2013. *IBM SPSS Statistics*. version 22.0, [Windows], Multiplataforma, U.S: IBM Corporation, Available: <<http://www.ibm.com>>.
- INAMHI 2013. *Anuario meteorológico*. no. 50-2010, Ecuador: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, ISSN: 1390-3578, Available: <<http://186.42.174.231/publicaciones/Anuarios/Meteoro/Am%202010.pdf>>.
- INEC 2011. *Encuesta de Superficie y producción Agropecuaria Continua*. Ecuador: Instituto Nacional de Estadística y Censo,

- Available: <[http://www.inec.gob.ec/espac\\_publicaciones/espac-2011/](http://www.inec.gob.ec/espac_publicaciones/espac-2011/)>, [Consulted: April 22, 2016].
- Jarma, O. A., Cardona, A. C. & Araméndiz, T. H. 2012. "Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión". *Revista U.D.C.A Actualidad Divulgación Científica*, 15 (1): 63–76, ISSN: 0123-4226.
- Korneup, A. & Wonscher, S. 1981. *Methuen Handbunk of colour*. 3rd ed., England: Eyre Methuen, 250 p., Available: <<http://www.chinastampsociety.org/books-on-chinese-stamps/methuen-handbook-of-colour-by-a-kornerup-and-j-h-wanscher-hardcover-published-by-eyre-methuen-1981-3rd-revised-edition-reprint-252-pages-like-new-includes-original-color-match-finder-inside/item-20000>>, [Consulted: April 4, 2016].
- Martín, N. J. & Pérez, G. 2009. "Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana". *Cultivos Tropicales*, 30 (1): 5–10, ISSN: 0258-5936.
- Moncayo, R. 2016. "Desempeño de las exportaciones del 2015". *Sabor Arriba. Revista Especializada en Cacao*, (7): 32–33.
- Navarro, A. J. A., Pacheco, Á. J., Cabrera, S. A. & Luna, P. V. M. 2011. *Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales*. 2nd ed., México: Universidad Nacional Autónoma de México, ISBN: 978-607-02-2127-9.
- Oddoye, E. O. K., Rhule, S. W. A., Agyente-Badu, K., Anchirinah, V. & Ansah, F. O. 2010. "Fresh cocoa pod husk as an ingredient in the diets of growing pigs". *Scientific Research and Essays*, 5 (10): 1141–1144, ISSN: 1992-2248.
- Ovaco, D. & Pineda, I. 2011. *Los residuos de cacao (Theobroma cacao L.) como fuente alternativa de antioxidantes*. Graduated Thesis, Universidad Particular de Loja, Ecuador.
- Pimienta, B. E., Zañudo, H. J. & Gallegos, R. A. 2011. "Variación estacional en la asimilación neta diaria de CO<sub>2</sub> en *Quercus magnolifolia* Née". *Agrociencia*, 45 (6): 711–718, ISSN: 1405-3195.
- Rivas, S. O., Faith, V. M. & Guillén, W. R. 2011. "Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad". *Revista Tecnología en Marcha*, 23 (1): 39, ISSN: 0379-3982.
- Sánchez, J. 2013. *Evaluación energética de cáscaras de cacao nacional y CCN-51*. M.Sc. Thesis, Universidad de Cuenca, Ecuador.
- Saval, S. 2012. "Aprovechamiento de residuos agroindustriales: Pasado, presente y futuro". *BioTecnología*, 16 (2): 14–46, ISSN: 0188-4786.
- Soil Survey Staff 1999. *Soil Taxonomy*. (ser. Agriculture Handbook, no. ser. 436), 2nd ed., Washington D.C.: Natural Resources Conservation Service, 869 p., DOI: 10.1111/j.1475-2743.2001.tb00008.x, Available: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1475-2743.2001.tb00008.x/abstract>>, [Consulted: April 22, 2016].

**Received: November 15, 2015**