

## CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA CACAO NACIONAL BOLIVIANO (*Theobroma cacao* L.), EN ALTO BENI-BOLIVIA

### Selection criteria for bolivian national cocoa (*Theobroma cacao* L.), in Alto Beni-Bolivia

Miriam Emma Estivarez Copa<sup>1</sup>; Casto Maldonado Fuentes<sup>2</sup>

#### RESUMEN

Bolivia es uno de los países que cuenta con cacao en estado silvestre y se posiciona entre los principales poseedores de cacao fino y aroma del mundo, reconocido en diferentes eventos como International Cocoa Awards, dicho material tiene características diversas en productividad, que no garantiza una producción estable. El objetivo del presente estudio fue determinar criterios de selección para plantas elites de Cacao Nacional Boliviano (*Theobroma cacao* L.) y la constante de conversión de cálculo de peso húmedo a peso seco, de la colección nacional de la Estación Experimental de Sapecho, donde se eligió al azar 100 ejemplares, se evaluó variables productivas (número de mazorcas/árbol/año, número de semillas por mazorca, índice de mazorca, índice de semilla, peso del fruto, rendimiento de cacao seco, constante de conversión peso húmedo, peso seco y tolerancia a las principales enfermedades fungosas). Se consideró el análisis multivariado para la interpretación de la información generada, el análisis de conglomerados conformó tres grupos por cada variable, mediante estadística descriptiva se eligió el mejor grupo con valores mínimos y máximos para establecer el rango de selección de las mismas con número de mazorcas por planta de 76 a 178; el número de semillas por mazorca fluctuó entre 28.25 a 42.5; índice de semilla 0.83 a 1.10 g; índice de mazorca 34 a 66; rendimiento 1.10 a 3.04 kg planta<sup>-1</sup> y tolerancia a escoba de bruja y monilia así como moderada tolerancia a mazorca negra. Con base a estos criterios se determinó que de todo el material estudiado cuatro presentaron un 90% de las características deseadas presentes, las cuales son CNB 96, CNB 120, CNB 122, CNB 127, así mismo se pudo evidenciar que solo un ejemplar cumple con todos los parámetros establecidos CNB 13. Con referencia a la constante de conversión de peso húmedo a peso seco, se determinó que es 0.34.

**Palabras clave:** Criterios de selección, Cacao Nacional Boliviano, rendimiento, tolerancia.

#### ABSTRACT

Bolivia is one of the countries that has wild cocoa and is positioned among the main holders of fine cocoa and aroma of the world, recognized in different events such as International Cocoa Awards, this material has diverse characteristics in productivity, which does not guarantee a production stable. The objective of this study was to determine selection criteria for elite plants of Bolivian National Cocoa (*Theobroma cacao* L.) and the conversion constant of calculation of wet weight to dry weight, from the national collection of the Sapecho Experimental Station, where 100 specimens were chosen at random, productive variables were evaluated (number of ears / tree / year, number of seeds per ear, ear index, seed index, fruit weight, dry cocoa yield, wet weight, weight conversion constant dry and tolerance to major fungal diseases). The multivariate analysis was considered for the interpretation of the generated information, the cluster analysis formed three groups for each variable, by means of descriptive statistics the best group with minimum and maximum values was chosen to establish their selection range with number of ears, per plant from 76 to 178; the number of seeds per ear fluctuated between 28.25 and 42.5; seed index 0.83 to 1.10 g; ear index 34 to 66; yield 1.10 to 3.04 kg plant<sup>-1</sup> and tolerance to witch and monilia broom as well as moderate tolerance to black cob. Based on these criteria, it was determined that of all the material studied, four presented 90% of the desired characteristics present, which are CNB 96, CNB 120, CNB 122, CNB 127, and it was also evident that only one specimen complies with All established parameters CNB 13. With reference to the conversion constant of wet weight to dry weight, it was determined to be 0.34.

**Keywords:** Selection criteria, Bolivian National Cocoa, yield, tolerance.

<sup>1</sup> Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. imar2.me@gmail.com

<sup>2</sup> Docente Investigador, Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. casmaf@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Bolivia se distribuye en las zonas tropicales y sub tropicales de los departamentos de La Paz, Beni, Pando, Cochabamba y Santa Cruz, donde las tipologías de cacao (plantaciones, sistemas agroforestales, agrobosques, etc.) presentan diversos grupos genéticos, entre los cuales se tiene al cacao en forma silvestre, bajo la denominación de cacao nacional boliviano (July, 2007).

HELVETAS (2019) señala que los ganadores de la 1ra versión del salón de cacao y chocolate en Bolivia fueron en orden decreciente: Chocoleco, Chocolate San Antonio, EMMONI, AAIAS Abraham Noza, APROCAB Comunidad Encuentro y Chocolate Tropical Cochabamba. Dichas muestras fueron enviadas al programa de Cacao de Excelencia (CoEx) del Internacional Cocoa Awards (ICA) con sede en Paris, donde Bolivia participa desde el año 2009, habiéndose siempre destacado y considerado como un cacao fino y de aroma, siendo la mayoría de las muestras de cacao nacional boliviano.

A pesar de conocerse la existencia del cacao nacional boliviano y cultivarse desde hace más de 200 años no se dispone de suficiente información para iniciar un programa de selección de individuos sobresalientes. La presente investigación se realizó con la única colección de cacao nacional boliviano que se tiene en Bolivia y que se encuentra resguardado en la Estación Experimental Sapecho, observándose en la misma una gran variabilidad, principalmente en el aspecto productivo, por lo que se considera necesario realizar la determinación de los criterios de selección que permitirá seleccionar material elite en campo que servirá para sustentar futuros trabajos con referencia a la mejora de este tipo de cacao.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de la zona de estudio

La investigación se realizó en la Estación Experimental Sapecho, dependiente de la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés, ubicado a 276 km de la ciudad de La Paz, Provincia Sud Yungas, municipio de Palos Blancos, altitud de 430 m s.n.m., latitud Sur 15° 33' 27.59", longitud Oeste 67° 20' 05.10" y una precipitación anual promedio de 1800 mm.

## Metodología

Se evaluaron 100 plantas tomadas al azar de la colección nacional de la Estación Experimental Sapecho, de los cuales 94 ejemplares de cacao nacional boliviano contaron con más de 30 años, situados en la parcela 25 que concentra 486 plantas y 6 genotipos de la colección Carmen del Emero de 13 años con 24 individuos, que se encuentran en la parcela 22.

El material genético se encuentra establecido a una distancia de plantación de 3 x 3 metros en una superficie de una hectárea, con 33 filas. Para determinar la población de estudio se realizó un muestreo al azar, evaluando por cada fila entre 3 a 4 individuos, considerando que cada fila contiene genotipos que fueron propagados a partir de una mazorca que fueron colectados y seleccionados de la amazonia boliviana por técnicos del Ex Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria y concentrados en la Estación Experimental Sapecho.



Figura 1. Etiquetado de las plantas seleccionadas de cacao nacional boliviano en la Estación Experimental Sapecho.

Para el registro del número de mazorcas por árbol y cosecha, el conteo de mazorcas se realizó por observación directa, la cosecha fue cada 15 días en el pico de producción, es decir en los meses de enero a marzo, las mazorcas cosechadas se las depositaron al pie del árbol (Figura 2), posteriormente se seleccionaron tres mazorcas grandes, cuatro mazorcas medianas y tres mazorcas pequeñas haciendo un total de 10 frutos por planta (Figura 3), esto para evitar sesgo en los resultados. Las muestras seleccionadas (10 mazorcas) fueron pesadas en una balanza digital determinándose de esta forma su peso promedio.



Figura 2. Cosecha de cacao nacional boliviano en la parcela 25 de la Estación Experimental Sapecho.



Figura 3. Selección de mazorcas de cacao nacional boliviano por árbol.

El registro del peso húmedo se realizó el desconchado (partido) de las mazorcas para el conteo del número de pepas (semillas) por mazorca (Figura 4), obteniéndose un promedio de las 10 mazorcas de cada genotipo.



Figura 4. Desconchado de la mazorca de cacao y pesaje de las semillas para la determinación del peso húmedo.

Para el proceso de fermentación, cada muestra experimental se incorporó en la masa de fermentación para garantizar que genere temperatura a consecuencia de la intensa actividad microbiana que se da en este proceso, esta etapa duró siete días, realizando la remoción de las mismas periódicamente para garantizar una fermentación aeróbica uniforme cuidando de no dañar las muestras. Sabiendo que en esta etapa se producen los cambios físicos, químicos y biológicos buscados, al interior de la pepa.

El secado de las muestras fue individual de cada una de las 100 muestras en el secador de cacao, el mismo fue a cielo descubierto (Figura 5), considerando no mezclar las muestras, haciendo la remoción periódica y garantizando que no se humedezcan durante la noche y días de lluvia. Para determinar que las muestras estén secas se utilizó un higrómetro, se realizó el control periódicamente y se consideraron secas cuando alcanzaron un 8% de humedad.



Figura 5. Secado de las semillas a cielo descubierto.

Una vez secas las muestras se procedieron a tomar el peso seco en la balanza digital, para luego almacenarlas en un lugar fresco y seco. La determinación del índice de semilla e índice de mazorca fue mediante las Ecuaciones 1 y 2 (Maldonado, 2017).

$$\text{Índice de semilla} = \frac{\text{Peso seco de 100 semillas}}{100 \text{ semillas pesadas}} \quad (1)$$

$$\text{Índice de mazorca} = \frac{1000 \text{ g/índice de semilla}}{\text{Cantidad de semillas por fruto}} \quad (2)$$



El rendimiento de peso seco por árbol por año se obtuvo mediante la relación de número de frutos sanos por árbol dividido sobre el índice de mazorca y se expresa en kilogramos por hectárea (Maldonado, 2017). El grado de tolerancia a enfermedades

fungosas fue evaluado considerando la Escoba de Bruja, Mazorca Negra y Moniliasis se realizó por observación directa y registro del número de mazorcas que presentaron los síntomas de las enfermedades mencionadas.

Tabla 1. Grado de reacción a enfermedades fungosas.

Descripción	Categoría
Escoba de Bruja ( <i>Moniliophthora perniciosa</i> )	1= Susceptible (61 a 100%)
Mazorca Negra ( <i>Phytophthora palmivora</i> )	3= Moderadamente susceptible (41 a 60%)
Moniliasis ( <i>Moniliophthora roreri</i> )	5= Moderadamente tolerante (11 a 40%)
	7= Tolerante (0.1 a 10%)

Fuente: Arguello, et al. (1999), citado por Maldonado y Cruz (2015).

Con la información del peso húmedo y el peso seco de las cien muestras se determinó la constante de conversión peso húmedo - seco de cada muestra, considerándose la diferencia de las mismas como la pérdida de humedad del grano de cacao hasta llegar a un 8% de humedad, obteniéndose finalmente el promedio de la constante de conversión.

Las variables, índice de semilla, índice de mazorca, peso del fruto, promedio de pepas por mazorca, número de mazorcas por árbol y rendimiento fueron sometidos a un análisis de componentes principales,

reteniendo los componentes con valor propio o varianza mayor a 1. Se expresó la relación de variables y distribución de individuos en una Figura Biplot.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Análisis de componentes principales

La Figura 1 (Figura Biplot) muestra que a mayor número de frutos por árbol se tiene mayor número de semillas por fruto, mayor índice de semilla, buen rendimiento y que a menor índice de mazorca es mejor el genotipo.

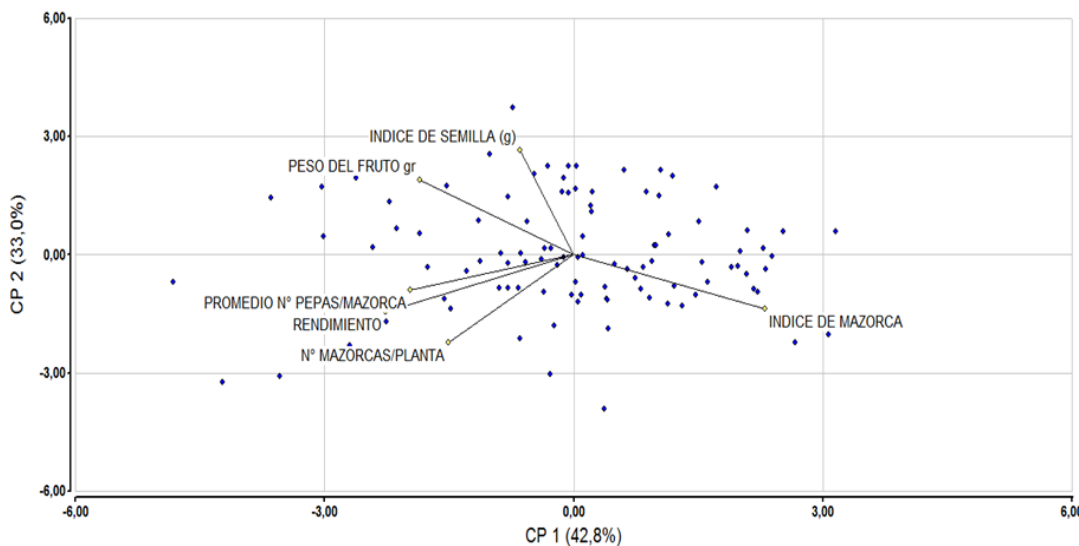


Figura 1. Análisis de componentes principales para CP1, CP2 y CP3.

El dendrograma proveniente del análisis de conglomerados describe tres grupos de individuos que se diferencian por los valores que han tomado las

variables de rendimiento, índice de semilla, índice de mazorca, peso del fruto y número de semillas por mazorca (Figura 2).

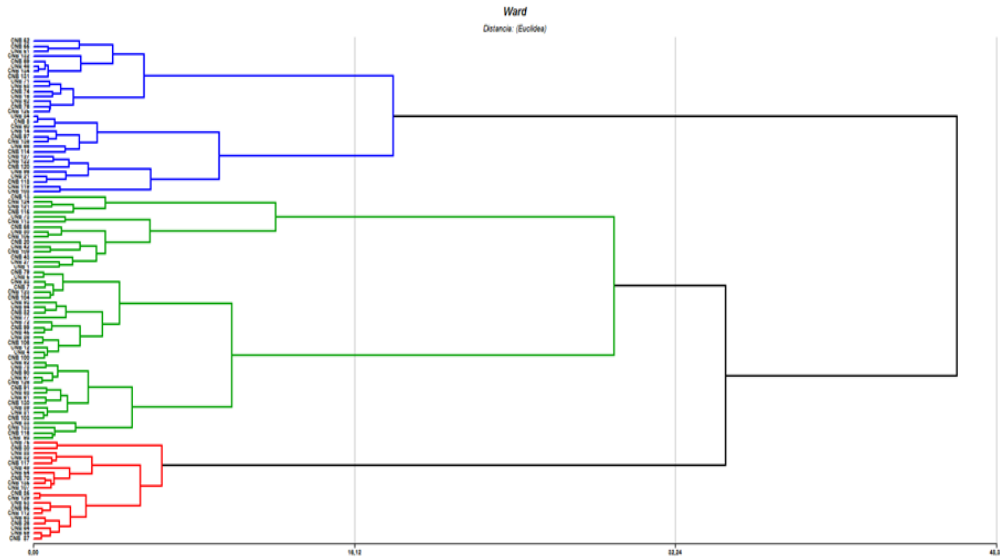


Figura 2. Dendrograma de 100 genotipos de CNB.

De acuerdo a la Figura 3, el grupo 1 se caracteriza por tener mayor índice de mazorca, el grupo 2 mayor índice de semilla y peso de mazorca, mientras que el

grupo 3 muestra un mejor rendimiento y número de semillas por mazorca.

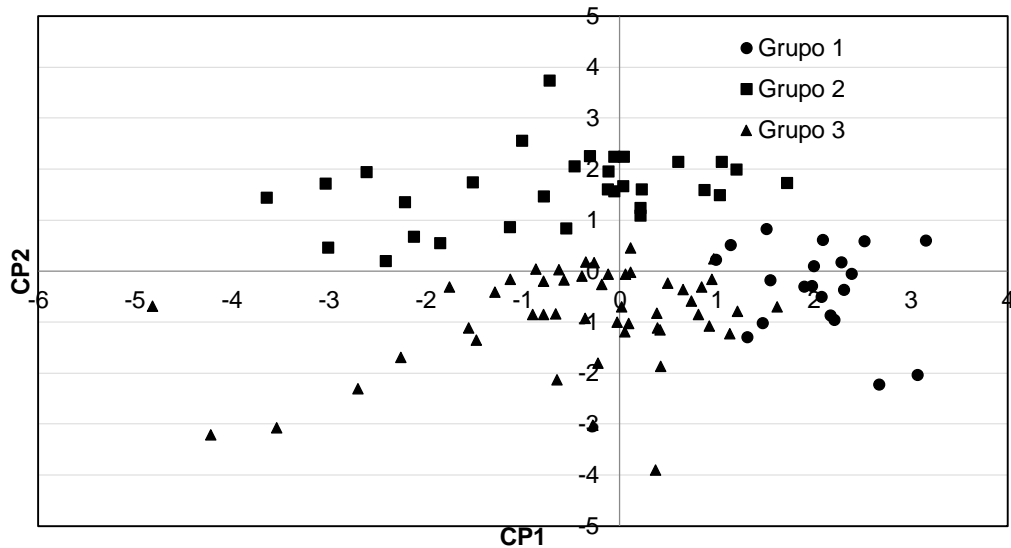


Figura 3. Agrupamiento según características CP1, CP2 y CP3.

### Número de mazorcas por árbol

En esta variable el análisis de conglomerados, muestra tres grupos separados a una distancia Euclídea de

10.94, se puede diferenciar el grupo dos con un máximo de 178 y un mínimo de 76 mazorcas por planta, con una media de 112.41 (Tabla 2).

Tabla 2. Estadística descriptiva de los conglomerados para el número de mazorcas por árbol.

Conglomerado	Número	Media	Desviación estándar	Error experimental	Coefficiente de variabilidad	Mínimo	Máximo
1	46	20.28	7.54	1.11	37.20	6.00	33.00
2	17	112.41	33.75	8.18	30.02	76.00	178.00
3	37	46.49	9.26	1.52	19.92	34.00	66.00

Los ejemplares que mostraron estos valores fueron CNB 113, CNB 115, CNB 121, CNB 121, CNB 124 y CNB 13. Con referencia a esta variable Pérez (2014) afirma que el número de mazorcas presentes, no es un buen indicador del rendimiento, debido a que muchas mazorcas de algunos árboles producen más semilla de cacao que otras. Este parámetro es una medida relativamente confiable para estimar la capacidad de producción de un material genético.

### Número de semillas por mazorca

En el análisis de la información diferencia en tres grupos separados a una distancia euclidiana de 13.56, donde el grupo tres es el más representativo con una media de 32.49 semillas por mazorca y un rango de 28.25 a 42.50, siendo el coeficiente de variabilidad de 10.73% (Tabla 3).

Tabla 3. Estadística descriptiva de los conglomerados para número de semillas por mazorca.

Conglomerado	Número	Media	Desviación estándar	Error experimental	Coefficiente de variabilidad	Mínimo	Máximo
1	44	17.80	2.74	0.41	15.42	10.00	21.50
2	31	25.40	1.64	0.29	6.46	22.25	27.75
3	25	32.49	3.49	0.70	10.73	28.25	42.50

En esta variable los ejemplares que se encuentran en el rango indicado fueron CNB 108, CNB 119, CNB 121, CNB 20 y CNB 13. July (2007), en estudios sobre cacao silvestre realizado en 11 lugares en la Amazonia boliviana afirma que el resultado promedio de número de semillas por mazorca es de 38, este valor está dentro del rango que se obtuvo en la presente investigación.

### Índice de semilla

Los tres grupos identificados están separados a una distancia euclidiana de 13.85. La Tabla 4 del análisis de conglomerados muestra que el conglomerado 2, es el grupo con mayor promedio de índice de semilla de 0.91 gramos y el rango de aceptabilidad de 0.83 a 1.10 gramos para árboles élites.

Tabla 4: Estadística descriptiva de los conglomerados para índice de semilla.

Conglomerado	Número	Media	Desviación estándar	Error experimental	Coefficiente de variabilidad	Mínimo	Máximo
1	57	0.51	0.07	0.01	13.64	0.30	0.60
2	20	0.91	0.07	0.02	7.50	0.83	1.10
3	23	0.71	0.05	0.01	6.55	0.63	0.80

Los genotipos que se acercan al valor alto son CNB 132, CNB 120, CNB 74, CNB 71, CNB 52 y CNB 134, con valores igual o superiores a 0.95 g, existiendo otros que entran también en este grupo pero que presentan valores algo menores. Estudios realizados por Mamani (2018), sobre índice de semilla en cacao nacional boliviano indican que los mejores índices están entre 1.0 a 1.1 g. Lo que corrobora la información generada en esta investigación.

Pérez (2014) indica que existe alta variabilidad entre genotipos con relación a este índice, por ejemplo, los cacaos de tipo Trinitario presentan un índice de semilla bajo con relación a los cacaos de tipo forastero, en algunos casos se ha informado que la semilla

proveniente de los frutos que son de forma amelonada presentan un rango de variación de 0.9 a 1.3 g.

### Índice de mazorca

De acuerdo al análisis de las características cuantitativas del índice de mazorca demuestran que la población de canaco nacional boliviano se diferencian tres grupos y separados a una distancia euclidiana de 12.54, de los cuales el conglomerado 3 presenta una media de 54.96 con un coeficiente de variabilidad 15.34%, siendo que este grupo presenta un índice de 34 mazorcas por planta como mínimo y 66 mazorcas como máximo.

Tabla 5. Estadística descriptiva de los conglomerados para índice de mazorca.

Conglomerado	Número	Media	Desviación estándar	Error experimental	Coefficiente de variabilidad	Mínimo	Máximo
1	25	107.60	15.16	3.03	14.09	93.00	149.00
2	27	78.15	5.69	1.09	7.28	70.00	88.00
3	48	54.96	8.43	1.22	15.34	34.00	66.00

Los individuos que presentaron valores bajos y se consideran mejores con relación a esta variable de índice de mazorca fueron CNB 119, CNB 120, CNB 13, CNB 127 y CNB 122. Mamani (2018) afirma que el mejor índice de mazorca en cacao nacional boliviano debe fluctuar entre 24 a 34 mazorcas. Lo que se asemeja y corrobora los resultados obtenidos en esta investigación. Pérez, (2014) sobre esta variable indica que está influenciado por factores genéticos y ambientales, por ejemplo la edad temprana de la planta y otros como la localización de los frutos en el árbol y las condiciones de suelo y fertilidad afectan los resultados .

### Rendimiento de cacao seco

La población dividida en tres grupos están separados por una distancia euclidiana de 14.24. El grupo dos se diferencia del grupo tres con una media de 1.64 y un coeficiente de variabilidad de 36.69%, el rendimiento en este grupo fue de 3.04 kg por árbol como máximo y 1.10 kg por árbol como mínimo (Tabla 6), los individuos con mayores valores fueron CNB 13, CNB 115, CNB 120, CNB 121 y CNB 124. Pérez (2012), afirma que el cacao nacional boliviano en estado silvestre tiene un rendimiento de 2 qq ha<sup>-1</sup>, ese mismo material pero cultivado posee un rendimiento de 5 qq ha<sup>-1</sup>.

Tabla 6. Estadística descriptiva de los conglomerados para rendimiento de cacao seco.

Conglomerado	Número	Media (kg por árbol)	Desviación estándar	Error experimental	Coefficiente de variabilidad	Mínimo	Máximo
1	56	0.31	0.14	0.02	43.88	0.07	0.57
2	20	1.64	0.60	0.13	36.69	1.10	3.04
3	24	0.76	0.16	0.03	20.55	0.59	1.05

### Grado de tolerancia a enfermedades fungosas

Los síntomas en los frutos con Escoba de Bruja (*Moniliophthora perniciosa*) y Moniliasis (*Moniliophthora roreri*) presentaron bajos índices de contaminación que osciló entre 0.1 y 10.0% clasificados como tolerantes, mientras que la presencia de Mazorca Negra (*Phytophthora palmivora*) determinó que un 71.0% es tolerante por presentar una contaminación de 0.1 a 10.0% y un 29.0% moderadamente tolerante por presentar una contaminación de 11.0 a 40.0%. Al respecto End, et.al. (2014), hacen referencia que la Mazorca Negra del cacao es la enfermedad más difundida en el mundo.

July (2007), como resultado de su investigación indica que el cacao nacional boliviano es poco atacado por las enfermedades de Escoba de Bruja, Mazorca Negra y Monilia, se podía decir que este tipo de cacao es tolerante. El grado de contaminación con enfermedades está muy relacionada con el manejo de la planta de cacao (Maldonado y Cruz, 2015).

### Constante de conversión peso húmedo a peso seco

Con la información de peso húmedo y peso seco, se realizó un análisis de estadística descriptiva, mediante el cual se determinó una media de 33.84 y un coeficiente de variabilidad de 9%, de un 100% de peso inicial como peso húmedo se tuvo al final como peso seco un 34%, por lo que la constante es 0.34. Lohse (2018) como resultado de su investigación, afirma que para diferentes clones de cacao foráneo la constante de conversión es 0.35, que en comparación a la información obtenida existe una diferencia de 0.01, posiblemente se deba a que el cacao nacional boliviano presenta menor tamaño de semilla.

### CONCLUSIONES

Para seleccionar plantas élites de cacao nacional boliviano, un genotipo debe cumplir con los siguientes criterios de selección: tener una producción mayor a 76 mazorcas por árbol por año, un mínimo de 28.25 semillas por mazorca, un índice de mazorca mayor o

igual a 34, índice de semilla mayor a 0.83 g y un rendimiento igual o mayor a 1.10 kg por árbol por año de cacao seco; respecto al grado de tolerancia a enfermedades fungosas se determinó que corresponden a la categoría de tolerantes a Escoba de Bruja y Moniliasis por no sobrepasar una contaminación de frutos del 10.0%, sin embargo Mazorca Negra se presentó en dos categorías; moderadamente tolerante en un 29.0% de la población (contaminación de 11.0 a 40.0%) y tolerante en un 71.0% de la población estudiada (0.1 a 10.0%).

Se determinó que la constante de conversión de peso húmedo a peso seco es de 0.34 para cacao nacional boliviano, la misma en comparación a cacao foráneo presenta una diferencia de 0.01.

## BIBLIOGRAFÍA

End, M.J.; Daymond, A.J.; Hadley, P. 2014. Directrices técnicas para el movimiento seguro del germoplasma del cacao, Global Cacao Genetic Resources Network (CacaoNet) Bioversity Internacional Montpellier Francia.

HELVETAS, Bolivia. 2019. Salón del cacao y chocolate Bolivia 2019, expresión de calidad, consultado en [www.helvetas.ch](http://www.helvetas.ch) Swiss Intercooperation en abril de 2019, La Paz Bolivia.

July, W. 2007. Caracterización morfológica y molecular del cacao nacional boliviano y de selecciones elites del Alto Beni, Bolivia. CATIE, 101 p.

Lohse D., E. 2018. Evaluación del rendimiento de seis genotipos de cacao (*Theobroma cacao* L.) instaladas en cinco sistemas de producción en el ensayo experimental de Sara Ana. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 76 p.

Maldonado, C.; Cruz, D. 2015. Manual de prevención, manejo y control de la moniliasis del cacao. UDIC, Estación Experimental de Sapecho, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 43 p.

Maldonado, C. 2017, Protocolo de criterios de selección de material genético de cacao, Estación Experimental de Sapecho, Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.

Mamani, J.R. 2018. Caracterización morfológica de cacao nacional boliviano (*Theobroma cacao* L.) en la Estación Experimental de Sapecho. Tesis de grado. La Paz, Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés. 82 p.

Perez, E. 2012. Identificación de variedades de cacao del Ceibo en la región del Alto Beni. Fundación para el Desarrollo Sostenible PIAF El Ceibo. La Paz, Bolivia.

Pérez, E. 2014. Índices de producción de cacao, fundación para el Desarrollo Sostenible PIAF El Ceibo. La Paz, Bolivia.

Artículo recibido en: 30 de julio 2019

Aceptado en: 9 de diciembre 2019