



**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES**

Trabajo de fin de carrera titulado:

**“DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME  
PROVINCIA GUAYAS”**

Realizado por:

**CARMEN YOLANDA ERAZO GAVILÁNEZ.**

Director del Proyecto:

**MSc. Walberto Efraín Gallegos Eras.**

Como requisito para la obtención del título de:

**INGENIERA QUÍMICA INDUSTRIAL**

Quito, 22 de abril de 2019

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAPO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**DECLARACION JURAMENTADA**

Yo, CARMEN YOLANDA ERAZO GAVILÁNEZ, con cédula 0202009742, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Carmen Erazo

C.C.:020200974-2

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**DECLARATORIA**

El presente trabajo de investigación titulado:

**“DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME  
PROVINCIA GUAYAS”**

Realizado por:

**CARMEN YOLANDA ERAZO GAVILÁNEZ**

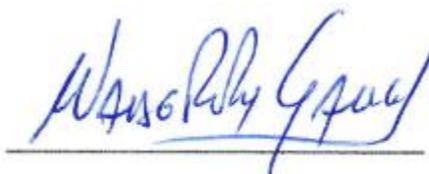
Como requisito para la obtención del Título de:

**INGENIERA QUÍMICA INDUSTRIAL**

Ha sido dirigida por el profesor

**MSc. WALBERTO EFRAÍN GALLEGOS ERAS**

Quien considera que constituye un trabajo original de su autora



**FIRMA**

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**LOS PROFESORES INFORMANTES:**

**KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO**

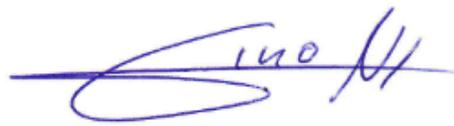
**LINO ARISQUETA HERRANZ**

Después de revisar el trabajo presentado,  
lo han calificado como apto para su defensa oral ante  
el tribunal examinador.



**KATTY VERÓNICA CORAL CARRILLO**

**FIRMA**



**LINO ARISQUETA HERRANZ**

**FIRMA**

Quito, 22 de abril de 2019

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**DEDICATORIA**

A Dios y a mi Madre María, quienes día a día me han fortalecido y llenado de bendiciones.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**AGRADECIMIENTO**

Mi gratitud infinita a Dios quien me permitió recomenzar y por tantas otras bendiciones innumerables, que no alcanzaría a expresar en estas pocas líneas.

A mi madre María, el reflejo de Dios en mi vida, por su apoyo y amor incondicional.

A mi compañero César, por su comprensión y paciencia.

A mis Maestros que me han iluminado con la lámpara de su sabiduría.

A mis amigos y amigas que me han acompañado en este largo caminar.

A los seres humanos que me han alentado con sus muestras de solidaridad y hermandad.

A los autores de libros quienes han sido fuente de aprendizaje.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

22/04/2019 18:01:33

Para someter a:

To be submitted:

**Diseño De Un Fermentador Y Secador Solar Piloto, Para Dos Variedades De Cacao  
(*Theobroma cacao* L), En El Cantón El Empalme Provincia Guayas.**

Carmen Yolanda Erazo Gavilánez<sup>1</sup>, Walberto Efraín Gallegos Eras<sup>1\*</sup>, Katty Verónica Coral  
Carrillo<sup>1</sup>, Lino Arisqueta Herranz<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito,  
Ecuador. 22/04/2019 18:01:33.

\*AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Walberto Efraín Gallegos Eras MSc, Universidad  
Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador.

Teléfono: +593-98-792-2521; email: [walberto.gallegos@uisek.edu.ec](mailto:walberto.gallegos@uisek.edu.ec).

Título Corto o Running title: El Empalme, fermentación y secado de granos de cacao.

# **DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

## **RESUMEN**

El presente estudio pretendió mejorar el grado de fermentación de la almendra de cacao Nacional y Ramilla (CCN-51) mediante la evaluación de un estudio del modelo cinético y el trabajo óptimo en el proceso de fermentación y secado. Para esto se midió la presencia de microorganismos: levaduras, bacterias del ácido láctico (BAL) y bacterias del ácido acético (BAA), para monitorear la fermentación en estado anaerobio y aerobio en las dos variedades de cacao: Nacional y Ramilla (CCN-51) en ocho oportunidades, cada mes, en el cantón el Empalme provincia del Guayas. En las cuatro primeras recolecciones se midió las variables de pH, temperatura y porcentaje de humedad para el proceso de fermentación y diseño del mismo. En las siguientes cuatro recolecciones se ingresó valores de ciertos parámetros para la aplicación del modelo cinético seleccionado y se diseñó el fermentador y secador a escala piloto. Las camas utilizadas en el secador son de madera laurel con una luz de malla 5,0 mm (ISO 2451:2017). Como resultado se obtuvo tiempos de fermentación óptimos para cacao Nacional y Ramilla (CCN-51) como medidor del índice de fermentación del cacao fino de aroma, con granos de cacao con  $7 \pm 1$  % de humedad, que es el requerimiento de NTE INEN 176 y asegurando que no exista contaminación posterior por microorganismos. Los resultados muestran que los parámetros de pH y temperatura son indispensables en el cambio de proceso anaerobio a aerobio, por los microorganismos presentes.

**PALABRAS CLAVES:** Cacao Nacional / Cacao Ramilla (CCN-51) / Fermentación en estado sólido / Microorganismos / Secador.

---

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**ABSTRACT.**

The present study aims to improve the degree of fermentation of the Nacional and Ramilla cocoa almonds (CCN-51) by evaluating a study of the kinetic model and the optimal work in the fermentation and drying process. For this the presence of microorganisms was measured: yeasts, lactic acid bacteria (BAL) and acetic acid bacteria (BAA), to monitor the fermentation in anaerobic and aerobic state in the two varieties of cocoa: Nacional and Ramilla (CCN-51) ) on eight occasions, every month, in the province of Empalme, province of Guayas. In the first four collections the variables of pH, temperature and humidity percentage were measured for the fermentation process and its design. In the following four collections, values of certain parameters were entered for the application of the selected kinetic model and the fermenter and dryer were designed on a pilot scale. The beds used in the dryer are made of laurel wood with a mesh size 5.0 mm (ISO 2451: 2017). As a result, optimal fermentation times were obtained for Cacao Nacional and Ramilla (CCN-51) as a measure of the fermentation index of fine aroma cocoa, with cocoa beans with  $7 \pm 1\%$  humidity, which is the requirement of NTE INEN 176 and ensuring that there is no subsequent contamination by microorganisms. The results show that the parameters of pH and temperature are indispensable in the change of anaerobic process to aerobic, by the microorganisms present.

**KEY WORDS:** Cacao Nacional / Cacao Ramilla (CCN-51) / Solid state fermentation / Microorganisms / Dryer.

# **DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

## **Introducción.**

El Ecuador ha logrado colocarse en el mercado internacional gracias al cacao Nacional o Arriba y su clon Ramilla (CCN51), sin embargo, los esfuerzos por estandarizar los procesos post cosecha no se ha logrado hasta la actualidad. (FAO, s. f.)

Los procesos de fermentación y secado en la post cosecha ayudan a mejorar la calidad final del cacao (sabor, aroma) y el precio de mercado. (Internacional, 2012)

El estudio de modelos cinéticos (Kresnowati et al. 2015), de granos de cacao se aplicó para el diseño del fermentador. El secador solar sirve para aprovechar los beneficios energéticos y bajo costo con relación a otros métodos de secado.

A pesar de que Ecuador participa y ha sido premiado en los ICAs (International Cocoa Awards), los procesos post cosecha, en la actualidad, siguen realizándose artesanalmente, es decir, se ha logrado 56% de índice de fermentación en granos de cacao que han sido seleccionados previamente y así se ha participado en estos premios en sus diferentes categorías.

Cacao - el principal ingrediente en el chocolate - proviene del árbol del cacao, que se cultiva en millones de pequeñas granjas familiares en todo el mundo. En el oeste de África, América Latina y el sudeste asiático, el cacao es un importante cultivo comercial, que proporciona ingresos a más de 4.5 millones de familias en todo el mundo. Se involucra a estas familias en un mercado mundial, impulsado por la fuerte y consistente demanda. (Portillo, Fuenmayor, & Diaz, 2011)

Los granos de cacao son las semillas del árbol *Theobroma cacao*. Cada semilla (Fig. 1.) consta de dos cotiledones y una planta pequeña embrional, todos dentro de una piel (la cáscara). Los cotiledones almacenan el alimento para la planta en desarrollo y se convierten en las dos primeras hojas de la planta cuando la semilla germina. El contenido en el grano se compone de grasa, conocida como la manteca de cacao, lo que equivale aproximadamente a la mitad el peso de la semilla seca. La cantidad de grasa y sus propiedades, tales como el punto de fusión y la dureza, dependen de la variedad de cacao y las condiciones ambientales. El grano de cacao está compuesto principalmente de grasa, siendo de un 50 % y a menudo un mayor porcentaje del peso total. El siguiente ingrediente más importante es la proteína o los elementos nitrogenados, incluidos la teobromina y la cafeína, que existen en pequeñas cantidades en el grano. Almidones y azúcares forman del 20 al 25 % del peso del grano. En general el contenido de ceniza es del 4 % y la teobromina del 1 %. (Portillo, Fuenmayor, & Diaz, 2011)

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS



**Figura 1. Estructura del cacao (cotiledones y cáscara)**

**Fuente:** FAO. Operaciones Poscosecha, pg 3.

Los organismos Europeos como el ECA (european cocoa association), CAOISCO (Chocolate, Biscuits & Confectionery of Europe) y FCC (Federation of Cocoa Commerce) han publicado con esfuerzos de la FDF (Federación de alimentos y bebidas del Reino Unido), un manual de los requisitos de Calidad de Cacao en Grano para la Industria del Chocolate y Cacao, que brindan algunas Normas Internacionales para el cacao, y pautas de pre y pos cosecha de almendras de cacao. La mayoría de productores de cacao Ecuatoriano no realizan la fermentación de la almendra, ya que no cuentan con un método uniforme y estandarizado, que desarrolle la formación de las características del sabor y aroma a chocolate.

La fermentación es uno de los procesos que incrementa la calidad de la clase de cacao para hacer chocolate, ya que en éste proceso, es donde muere el embrión y se generan reacciones bioquímicas dentro de los cotiledones; reduciendo el sabor astringente y amargo, generando compuestos precursores que reaccionarán durante el tostado para formar el sabor a chocolate, “no hay sabor a chocolate en almendras sin fermentar”.

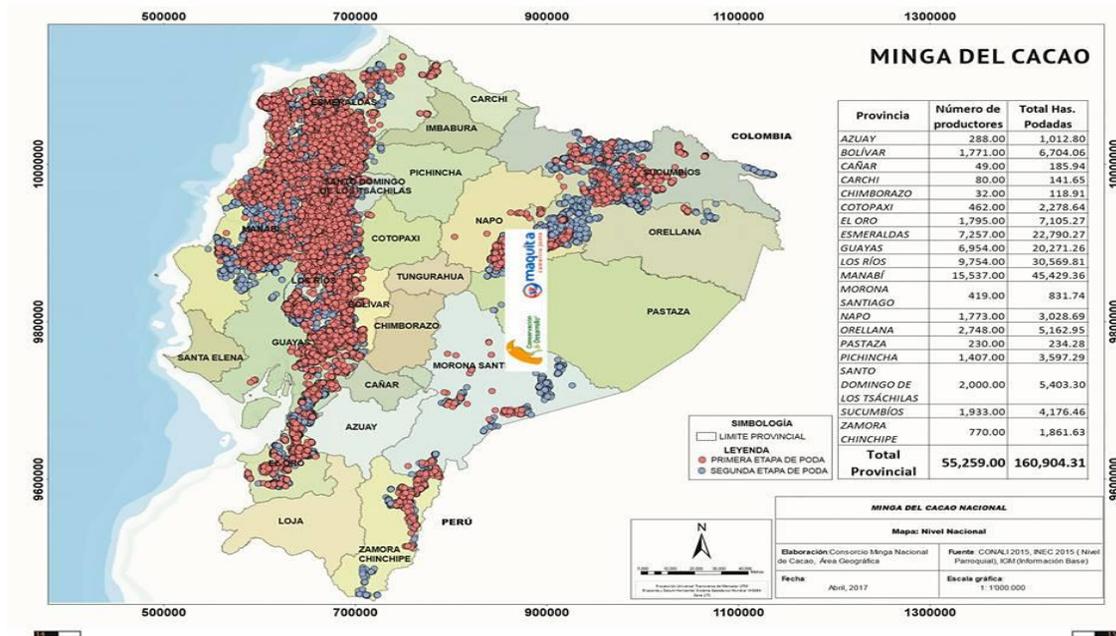
### ***Theobroma cacao* L.**

#### ***Origen botánico***

El nombre científico del cacaotero es “*Theobroma cacao* L.” (la “L” es la inicial del apellido del naturalista sueco que clasificó la planta C. Linneo). El cacao pertenece al género *Theobroma* que en griego significa “alimento de los dioses” de la familia de las bitneriáceas. Los granos tienen sabores amargos y astringentes.(México, n.d.)

Ecuador es uno de los principales países de América del Sur en producir cacao debido a que posee el clima cálido adecuado para el crecimiento de la planta, precipitaciones abundantes y humedad. Entre las variedades de cacao que producen en el país se encuentran: Criollo, Forastero y Trinitario, distribuidas principalmente en las provincias de Guayas, Manabí, Los Ríos, El Oro y en varias provincias de la Amazonía ecuatoriana al norte y sur.(Pereira, 2015)

# DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS



**Figura 2. Distribución Geográfica del cacao en Ecuador**

**Fuente:** (Conservacion & Desarrollo, 2018)

**Criollo:** Esta variedad produce mazorcas de tamaño mediano, con granos grandes que pueden ser blancas o ligeramente pigmentadas, aromáticas y de buena calidad, aunque de producción muy baja. (Pereira, 2015)

**Forastero:** Produce mazorcas pequeñas inicialmente de color verde y al madurar cambia a color amarillo. Dentro de este grupo se encuentra aquel conocido como **Cacao Nacional**, es aromático y más resistente a enfermedades que la variedad criollo. (Pereira, 2015)



**Figura 3. Cacao Nacional**

**Fuente:** De la Autora.

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

**Trinitario:** Es un híbrido, resultado de la mezcla del criollo y forastero con diferentes grados de mezcla. Dentro de este grupo se encuentra el **CCN-51** (Colección Castro Naranjal), con alta resistencia a enfermedades y elevada producción. (Pereira, 2015).



**Figura 4.** Cacao Ramilla (CCN-51)

**Fuente:** De la Autora.

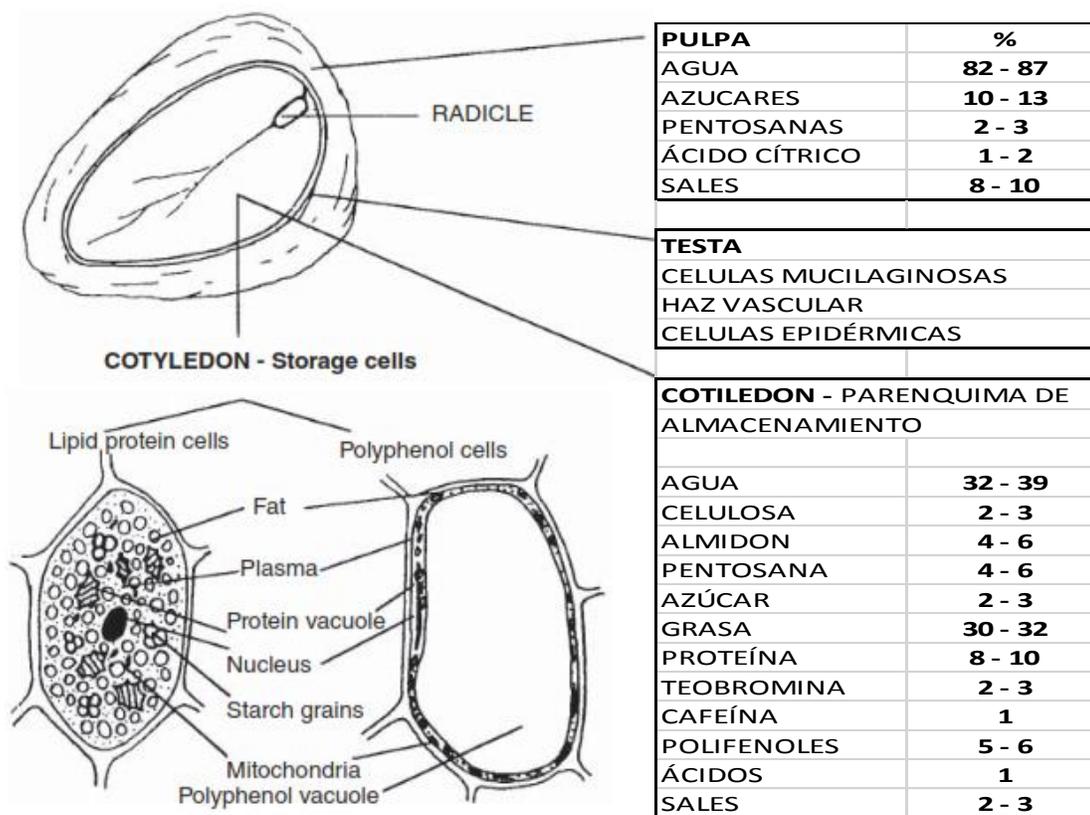
### ***Composición química del cacao.***

Los granos de cacao están formados por células epidérmicas, células parenquimatosas de reserva que contienen grasa, proteínas, almidón y las células con pigmentos responsables de la coloración como los polifenoles y purinas.

La composición química depende de: tipo de cacao, origen geográfico, grado de madurez, calidad de la fermentación, secado y procesamiento de los granos.

Los principales constituyentes del grano de cacao son: agua, grasa, compuestos fenólicos, materia nitrogenada (proteínas y purinas), almidón, otros carbohidratos y materia orgánica (Tabla 1); en cambio el mucílago está formado por: agua, azúcares, glucosa, pectinas y ácido cítrico (Tabla 2).

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**



**Figura 5.** Corte anatómico del grano de cacao, señalando componentes celulares

**Fuente:** Ohene A. E. Chocolate Science and Technology. Pg. 83.

**Tabla 1.** Composición química del cotiledón de cacao fresco

<b>Componente</b>	<b>%</b>
Grasa	54,0
Agua	32,5
Proteína	11,5
Ácidos orgánicos y aromas	9,5
Celulosa	9,0
Ácidos tánicos y color	6,0
Sales minerales	2,6
Teobromina	2,5
Azúcares	2,5
Cafeína	1,0

**Fuente:** (Steinau, 2017)

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Tabla 2.** Composición química del mucílago del cacao

Componente	% (base húmeda)
Agua	79,20 - 84,20
Azúcares	12,50 - 15,90
Glucosa	11,60 - 15,32
Pectinas	0,90 - 1,19
Ácido cítrico	0,77 - 1,52
Cenizas	0,40 - 0,50
Proteína	0,09 - 0,11

**Fuente:** (Steinau, 2017)

***Cacao fino y de aroma***

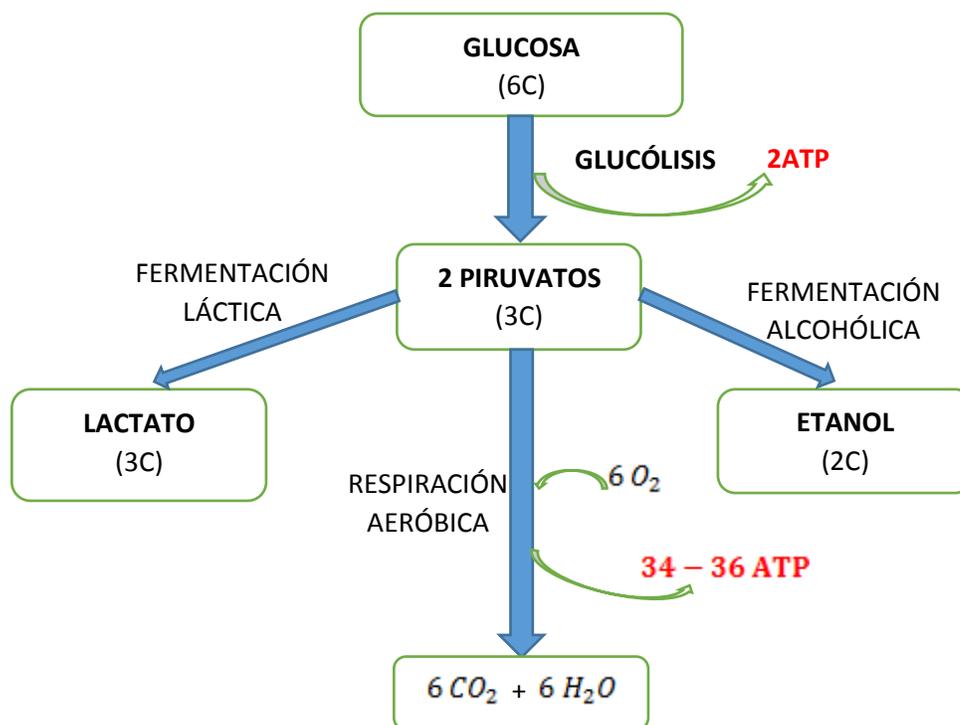
Fino de Aroma es una clasificación del ICCO que describe un cacao de exquisito aroma y sabor. Siendo estos aromas y sabores frutales, florales, de nueces y de malta. Los cacaos de este tipo provienen en su mayoría de cacaos criollos y trinitarios, que son diferentes en términos de aroma y sabor a los cacaos de tipo forastero. (Steinau, 2017).

La variabilidad genética en cacao tiene gran influencia en las características de los granos de cacao, el sabor, color, tamaño, contenido de manteca y sobretodo, aroma que pueda desprender después de la torrefacción, afirma que el sabor potencial del cacao fino es debido básicamente a la variabilidad genética de los árboles que lo producen; sin embargo, el desarrollo del sabor y aroma a chocolate dependen del correcto proceso de fermentación y secado. (Steinau, 2017).

***Fermentación***

Portillo et al. (2006), mencionan que la fermentación involucra dos fenómenos distintos no independientes: la fermentación microbiana que contribuye a la eliminación de la pulpa mucilaginososa presente en los granos; y las reacciones bioquímicas internas en los cotiledones que conducen a la modificación de la composición química de los granos y en particular a la formación de los precursores del aroma.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**



**Figura 6.** Esquema de fermentación

**Fuente:** Adaptada de nature.com

***Proceso bioquímico en la fermentación***

La fermentación puede caracterizarse como un proceso con dos etapas. En la primera se da la fermentación anaerobia de los azúcares del mucílago que cubren los granos (Lambert s.f.). Ya que el mucílago contiene 80% de agua, es un medio donde se propagan fácilmente las levaduras, las cuales transforman el mucílago azucarado en alcohol y anhídrido carbónico (Martínez 2015), a la vez que comienza a elevarse la temperatura (Reyes et al. 2000).

Conforme se produce el descenso de la capa de pulpa, hay penetración de aire, iniciando la segunda etapa (fermentación aerobia), que favorece la oxidación del alcohol a ácido acético, con la intervención de bacterias acéticas (Reyes et al. 2000).

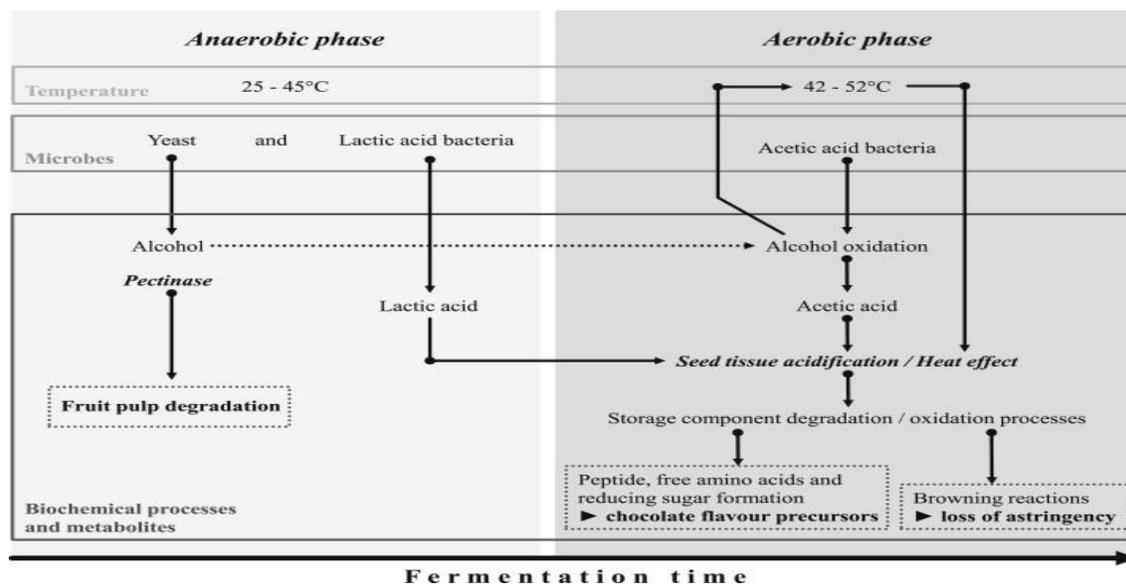
El ácido acético provoca la muerte del embrión al penetrar en el tejido cotiledonar y a su vez la permeabilidad de las paredes celulares, permitiendo la interdifusión de los componentes del jugo celular. Así, las enzimas se ponen en contacto con los polifenoles y proteínas y se inician las reacciones hidrolíticas que dan lugar a cambios en los pigmentos cianidínglucósidos. Luego se disminuye el contenido de humedad, hasta el punto en que la falta de agua detiene la actividad enzimática. Cuando el oxígeno tiene acceso a las células de los cotiledones durante la fase de

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

condensación oxidativa, el color de la superficie de los granos se vuelve pardo provocando el inicio de la formación de los precursores del sabor a chocolate. Toda esta fase ocurre a temperaturas cercanas a 45 °C y con pH de 4.0 a 5.0 (Reyes et al. 2000).

### **Fermentación microbiana**

La sucesión microbiológica en la fermentación (Figura 7) inicia con las levaduras (entre 5 y 6 especies diferentes tales como *Hanseniaspora guilliermondii*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida silvae*, *Candida zemplinina*, *Candida krusei* y *Pichia kudriavzevii*), transformando los azúcares sencillos de la pulpa en etanol, degradando la pectina, lo que modifica la textura del grano y elimina el ácido cítrico disminuyendo la acidez. Por otro lado, el consorcio de levaduras consume el oxígeno, creando un ambiente anaerobio que favorece el desarrollo de bacterias lácticas (Wacher 2011).

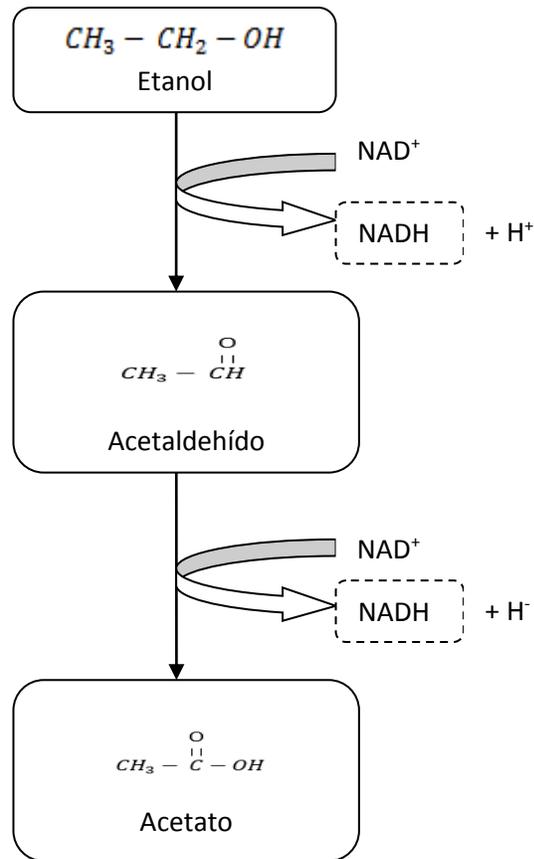


**Figura 7.** Fases de fermentación

**Fuente:** (khan Academy)

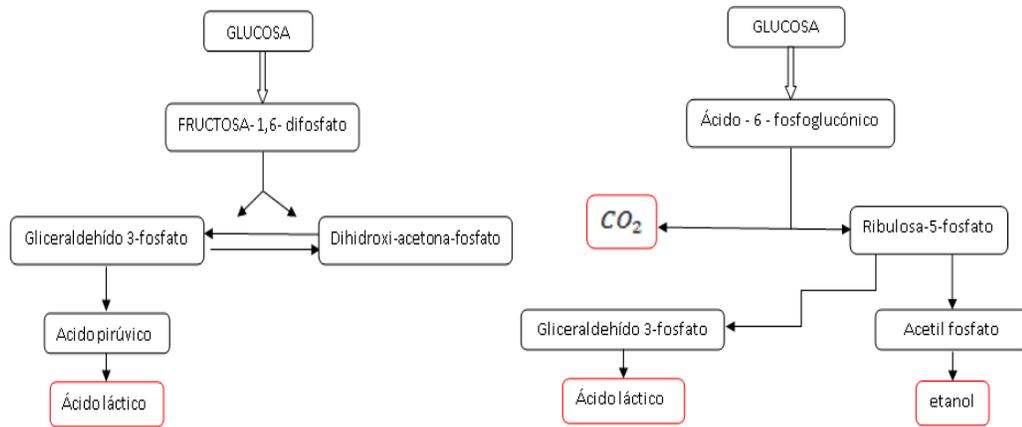
Luego, la segunda fase se favorece el desarrollo de bacterias lácticas (*Lactobacillus collonides*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus mali*, *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Leuconostoc pseudoficulneum*, y *Pediococcus acidilactici*), que fermentan los carbohidratos residuales y continúan el consumo del ácido cítrico (Wacher 2011).

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**



**Figura 8.** Fermentación Láctica

**Fuente:** Adaptada de researchgate.net



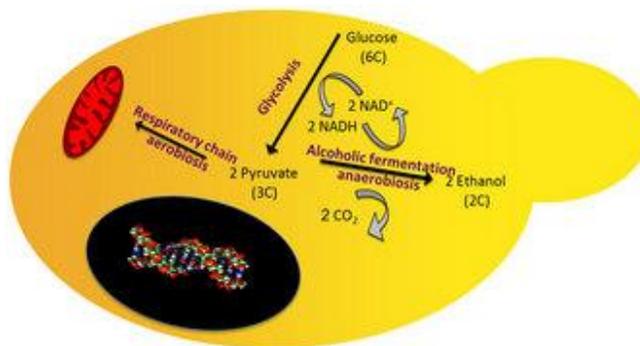
**Figura 9.** Fermentación Láctica  
Homofermentativa

**Figura 10.** Fermentación Láctica  
Heterofermentativa

**Fuente:** Adaptada de Larpent

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

Las levaduras contienen enzimas del tipo pectinolítico, lo que les permite hidrolizar las pectinas, ocasionando una disminución de la viscosidad de la pulpa de mucílago y favoreciendo la entrada de aire. Con este ambiente aerobio y menos ácido (debido al consumo de ácido cítrico) se favorece el desarrollo de bacterias acéticas (Wacher 2011).



**Figura 11.** Levadura

**Fuente:** nature.com

En la tercera fase ocurre un cambio importante en términos de los productos de la fermentación, ya que intervienen bacterias acéticas (*Gluconobacter oxydans*, *Acetobacter aceti*, *Acetobacter pasteurianus*, *Acetobacter syzygii* y *Acetobacter fabarum*) que llevan a cabo la transformación del etanol que produjeron las levaduras en ácido acético, con producción de calor. El etanol y el ácido acético se difunden hacia el interior de los granos y, junto con la temperatura alta, matan al embrión (Wacher 2011).

En la cuarta y última fase de la fermentación, la temperatura alta favorece el desarrollo de bacterias del género *Bacillus* (*B. licheniformis*, *B. megaterium*, *B. pumilus* y un grupo pequeño de *B. subtilis*, *B. megaterium* y *B. pumilus*) cocido por la producción de numerosas enzimas, que catalizan reacciones cuyos productos dan al grano de cacao sabores y olores desagradables, como las proteolíticas, que degradan las proteínas y las lipolíticas, que actúan sobre las grasas; pero podrían contribuir en el sabor con la producción de ácidos orgánicos y saborizantes, como 2,3butanodiol (Wacher 2011).

Si la fermentación se prolonga demasiado habrá un crecimiento de bacterias consideradas de alteración, como *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Escherichia*, así como de mohos *Aspergillus* (*A. glaucus*, *A. niger*, *A. flavus*, *A. tamaritii*) y especies de *Penicillium* y de *Mucor*, que darían lugar a pH entre 6 y 7 y a olores putrefactos (Wacher 2011).

# DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

## *Indicadores de fermentación*

- ***Temperatura en la fermentación***

En un proceso de fermentación se desarrolla calor siendo la reacción de tipo exotérmico para el caso del cacao es -75 kJ/mol de levadura, en consecuencia, hay un incremento importante de temperatura en el proceso (Bravo y Mingo 2011).

Durante los primeros días de fermentación la temperatura llega hasta los 45 - 50 °C, luego empieza a descender lentamente y vuelve a subir cuando se realiza la segunda remoción, llegando al final a subir hasta los 48 - 50 °C, para luego disminuir una vez que ha concluido el proceso de fermentación (Wood, citado por Palacios 2008).

El embrión en el interior del grano muere cuando, además de cambiar el pH por efecto de la presencia del ácido acético que se ha difundido a través de la testa, la temperatura interna del grano llega a 45°C, marcándose el inicio de los cambios bioquímicos que conducirán a la formación de los precursores del sabor y aroma a chocolate (Enríquez, citado por Palacios 2008).

- ***pH en la fermentación***

El pH varía por diferentes situaciones que se presentan en la fermentación desde los procesos de degradación por acción de microorganismos, así como por efectos de mezclado o volteo (Senanayake, citado por García 2000).

Existen significativas diferencias en cuanto al pH inicial en el mucílago y cotiledón antes del proceso de fermentación, esto se debe principalmente al contenido de ácido cítrico en el mucílago (García 2000). Según Enríquez (1985), Jinap, citado por Recalde (2007) y Hernández, citado por Sánchez (2007), mencionan que el pH inicial de los cotiledones es de 6.6 y el de la pulpa varía de 3.4 a 4.6.

El pH de los cotiledones durante el primer día de fermentación decrece lentamente (hasta 6.3), pero durante el tercer y cuarto día baja rápidamente hasta alcanzar un valor de 4.75 aproximadamente; este valor sufre muy pocos cambios hasta que se termina la fermentación (Enríquez 1985), asimismo, Wood, citado por Sánchez (2007), menciona que por acción del ácido acético al tercer día el pH baja a 4,8 y se mantiene durante el resto de la fermentación debido a la permeabilidad de la testa, dato confirmado por Jinap, citado por Recalde (2007), quien menciona que después de la fermentación el rango final de pH es de 4.5 a 5.5.

El pH de la testa en cambio, inicia muy bajo favoreciendo cierto tipo específico de microorganismos, su valor sube lentamente hasta llegar a 4.0 (Enríquez 1985); causado por la pérdida de ácido cítrico debido al drenaje de los jugos y por el metabolismo microbiano (López,

## **DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

citado por Recalde 2007), pero durante el tercer día este valor sube rápidamente hasta igualar al comienzo del cuarto día el valor del pH de 4.75 del cotiledón, durante el resto de la fermentación y hasta medio día de secado tiene un aumento hasta 5.2. (Enríquez 1985), llegando a un pH al final del secado de 6.8 (Jinap, citado por Recalde 2007).

- ***Alcohol en la fermentación***

En cuanto los granos dentro de la vaina son removidos, inicia la inoculación de microorganismos, entre estos se encuentran las levaduras quienes incrementan rápidamente favorecidas por el pH ácido, la gran cantidad de azúcar presente en el mucílago y el bajo contenido de oxígeno de la masa (Braudeau, citado por Enríquez 1985).

Bajo el efecto de estas levaduras, los azúcares de la pulpa son transformadas en alcohol etílico con desprendimiento anhídrido carbónico. La fermentación alcohólica provoca una elevación de la temperatura al mismo tiempo que una disminución de pH. Algunas levaduras producen enzimas pectolíticas, las cuales rompen las paredes celulares de la pulpa provocando el drenaje de los jugos y la formación de espacios entre las almendras a través de las cuales el aire puede penetrar (López, citado por Enríquez 1985).

La pérdida de ácido cítrico por el drenaje de los jugos y por el metabolismo microbiano causa un aumento de pH, que conjuntamente con los elevados niveles de alcohol y una mejor aireación, inhiben a las levaduras de manera que su actividad desaparece (López, citado por Enríquez 1985).

- ***Ácidos en la fermentación***

Debido al proceso de fermentación, en el mucílago el ácido cítrico se degrada, incrementándose el pH y el ácido acético formado en la fase aerobia migra hacia el cotiledón. En el cotiledón el comportamiento de pH en un principio desciende por la presencia de ácido acético y posteriormente se incrementa debido a las reacciones que ocurren entre ácido acético y diferentes fracciones de proteínas (García 2000).

Las bacterias acéticas transforman por oxidación el alcohol etílico en ácido acético, esta reacción es exotérmica por lo que causa una elevación en la temperatura de la masa de fermentación (Braudeau, citado por Enríquez 1985).

Los ácidos orgánicos producen la muerte del embrión, evitan la germinación, permiten la vacuolización y pérdida celular que ayuda a la distribución de enzimas por el tejido y su mezcla con el sustrato, produciendo así las reacciones de formación de los precursores del aroma a chocolate, así también, protegen al grano de las bacterias de putrefacción que proveen al grano de aromas rancios (Armijos 2002).

# **DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

## **SECADO**

Mediante este proceso el contenido de agua, la acidez y la astringencia del grano disminuyen, y el pH aumenta a 5,5 (Wood, citado por Sánchez 2007), dato confirmado por Enríquez (1985) quien indica que durante el secado el pH sube en forma lenta llegando hasta 5.4, siendo estas características importantes de calidad del grano.

En el proceso de secado se debe mezclar los granos de cacao frecuentemente para la distribución uniforme del calor para ello deben usarse utensilios de madera. En forma práctica el punto de secado se conoce tomando un puñado de granos y si al oprimirlos crujen es señal de que están en el grado de sequedad requerido (FEDECACAO 2004).

Al final de la fermentación existe un contenido de humedad en los granos (cotiledón y testa) alrededor del 55%; la misma, que debe bajar de 6 a 7 % para el almacenamiento seguro. Además, con el secado continúan dándose cambios químicos hasta que se detienen por la falta de humedad o inactivación de las enzimas (Wood, citado por Palacios 2008).

Durante el secado el aire penetra al grano a través de la cutícula o testa, oxidando a los polifenoles restantes, siendo la continuación de reacciones bioquímicas internas que condicionan en gran parte el sabor y aroma del producto (Gutiérrez, citado por Palacios 2008).

Generalmente se utilizan tendales de cemento, madera, caña y otros, las dimensiones pueden variar, pero la gran mayoría de las fincas cacaoteras son pequeñas y utilizan el recurso que tengan a la mano y en muchos casos materiales que ponen en peligro la calidad de los granos.

En su mayoría colocan los granos de cacao a la orilla de la carretera que es de asfalto.

## **CALIDAD DEL GRANO DE CACAO FERMENTADO**

### ***Calidad física del grano***

La calidad física se basa principalmente en la presentación exterior del grano, mediante la calificación que imponen los países compradores y fabricantes de chocolate a los granos de cacao por su apariencia física (Figura 8), humedad, contenido de materiales extraños, mohos, insectos y por su sabor y aroma intrínseco o propio de cada variedad o genotipo (Vallejo y Quingaísa, citado por Vera y Murillo 2010).

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**



Figura 12. Clasificación de calidad de los granos de cacao.

Fuente: (Saavedra 2012)

*Calidad física de los granos de cacao*

**Tabla 3. Características de los tipos de granos de cacao**

<b>Tipo de grano</b>	<b>Características</b>
<b>Granos de cacao fermentados</b>	Granos cuyos cotiledones presentan una coloración marrón o marrón rojiza y estrías profundas, o también cotiledones de una ligera coloración violeta y estrías no profundas.
<b>Granos de cacao violetas</b>	Granos que presentan color violeta, en al menos, la mitad de la superficie expuesta de los cotiledones.
<b>Granos de cacao pizarrosos (pastosos)</b>	Granos sin fermentar que presenta en su interior color gris negruzco o verdoso y de aspecto compacto por sobre la mitad o más de la superficie expuesta.
<b>Granos de cacao mohosos (con mohos)</b>	Granos que han sufrido deterioro parcial o total en su estructura interna debido a la acción de mohos.
<b>Granos de cacao defectuosos</b> Granos que presentan los siguientes defectos:	<b>Granos de cacao dañados por insectos</b> Granos que han sufrido deterioro en su estructura (perforaciones) debido a la acción de insectos.
	<b>Granos de cacao germinados</b> Granos que han sufrido deterioro en su calidad debido a cambio evidente en su estructura por el proceso de germinación (presencia de germen o agujero).
	<b>Granos de cacao múltiples o pelota</b> Unión de dos o más granos por restos de mucílago
	<b>Granos de cacao negros</b> Granos que se producen por enfermedades o por mal manejo pos cosecha.
	<b>Granos de cacao planos-vano o granza</b> Granos cuyos cotiledones se han atrofiado hasta tal punto que cortando la semilla no es posible obtener una superficie completa de los cotiledones.

Fuente: (INEN, 2018)

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**CLASIFICACIÓN**

Los granos de cacao se clasifica (tabla 4):

**Tabla 4. Clasificación de los granos de cacao.**

<b>Cacao fino</b>	<b>Cacao CCN51</b>
Arriba Superior Summer Selecto (A.S.S.S)	Cacao Superior Selecto (C.S.S)
Arriba Superior Selecto (A.S.S)	Cacao Superior Corriente (C.S.C).
Arriba Superior Época (A.S.E)	

**Fuente:** (INEN, 2018)

**Requisitos**

Los granos de cacao deben cumplir con los requisitos físicos y de calidad indicados en la Tabla 5.

**Tabla 5. Requisitos físicos y calidad para los granos de cacao**

<b>Requisitos</b>	<b>Cacao Fino</b>			<b>Cacao CCN51</b>		<b>Métodos de ensayo</b>
	<b>A.S.S.S</b>	<b>A.S.S</b>	<b>A.S.E</b>	<b>C.S.S</b>	<b>C.S.C</b>	
Humedad, máximo, %*	7	7	7	7	7	NTE INEN-ISO 2291
Peso de 100 granos, g	>130	>120 a 130	100 a 120	>125	110-125	a
Granos fermentados, mínimo, %	75	65	53	68	55	NTE INEN-ISO 1114
Granos violetas, máximo, %	15	21	25	18	26	NTE INEN-ISO 1114
Granos pizarrosos, máximo, %	9	12	18	12	15	NTE INEN-ISO 1114
Granos mohosos, máximo, %	1	2	4	2	4	NTE INEN-ISO 1114
TOTALES (análisis sobre 100 granos), mínimo	100	100	100	100	100	
Granos defectuosos, máximo, %	0	1	3	1	3	b
Material relacionado al cacao, máximo, %	1	1	1	1	1	b
Material extraño, máximo, %	0	0	0	0	0	b

\* El símbolo % (por ciento) representa al número 0,01, que expresa a la fracción másica.  
a masa determinada por medio de una balanza u otro instrumento equivalente.  
b determinado en 500 g de muestra.  
NOTA. Se permite la presencia de granza solo en el Cacao A.S.E y en el cacao C.S.C en un máximo del 1,5 %

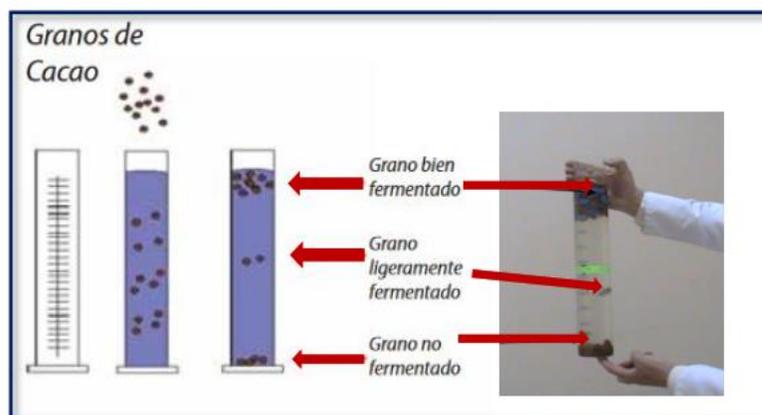
**Fuente:** (INEN, 2018).

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

### Pruebas para determinar el grado de fermentación y la calidad física en el grano.

#### *Prueba de agua (físico-química)*

Una forma rápida para determinar el porcentaje de fermentación es la prueba de agua que se basa en el uso de la densidad (Saavedra 2012). Para poder aplicarla, se requirieren de 100 granos de muestra vertidos en una probeta de 1000 mL llena de agua destilada. Los granos que no se sumergen en el fluido y se mantienen en la superficie, son aquellos que han llegado a una buena fermentación. Los que se ubican en medio de la probeta se considera que han sufrido una mediana fermentación, por último, los que llegan al fondo del recipiente son los que han sufrido una mínima fermentación (Figura 13) (Bravo y Mingo 2011).



**Figura 13.** Prueba de agua en cacao.

**Fuente:** (Bravo y Mingo 2011).

#### *Prueba de corte*

Es una forma de determinar el grado de fermentación con efecto directo sobre el sabor y debe ser realizada en un tiempo máximo de 30 días después del secado, para evitar el efecto de oxidación. Esta es una prueba subjetiva que involucra la evaluación visual, ya que, la oxidación de los tejidos del grano hace que los colores internos cambien naturalmente pudiendo tener color marrón, pero un sabor y aroma de baja calidad (Stevenson et al. 1993).

La prueba se fundamenta en características físicas del grano una vez que ha sufrido el proceso de fermentación y secado; a 100 granos seleccionados se les realiza un corte longitudinal por la parte central (Figura 12), a fin de exponer la máxima superficie de corte de los cotiledones identificando así la calidad del producto (INEN 2006).

# DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

## *Composición química del grano de cacao fermentado y seco*

Según Wakao, citado por Palacios (2008), la composición química de los granos de cacao fermentado (Tabla 6), depende de varios factores entre los que se puede citar: Tipo de cacao, grado de madurez, calidad de la fermentación y el secado y además el subsiguiente procesamiento de los granos (tostado).

**Tabla 7.** Composición química del grano de cacao fermentado y seco

<b>Componente</b>	<b>Porcentaje máximo de cotiledón</b>	<b>Porcentaje máximo de testa</b>
Grasa	57,0	5,9
Proteína	15,6	20,0
Almidón	9,0	5,2
Cenizas	4,2	20,7
Agua	3,2	6,6
Fibra cruda	3,2	19,2
Teobromina	1,3	0,9
Cafeína	0,7	0,3

**Fuente:** (Steinau, 2017)

## **Cinética química para el proceso de fermentación.**

### **Desarrollo del modelo cinético de la fermentación del grano de cacao.**

El desarrollo del modelo cinético de la fermentación del grano de cacao también sirve como un buen caso de estudio de la fermentación de estado sólido de cultivo mixto, que raramente se ha estudiado.

Se presenta el desarrollo de un modelo cinético para la fermentación de granos de cacao en estado sólido utilizando un enfoque empírico.

Se usaron para la estimación de parámetros del modelo series de fermentaciones de granos de cacao a escala de laboratorio, ya sea fermentaciones naturales sin adición de iniciadores o fermentaciones con levadura mixta y adición de iniciador de bacterias de ácido láctico.

## **METODOLOGÍA**

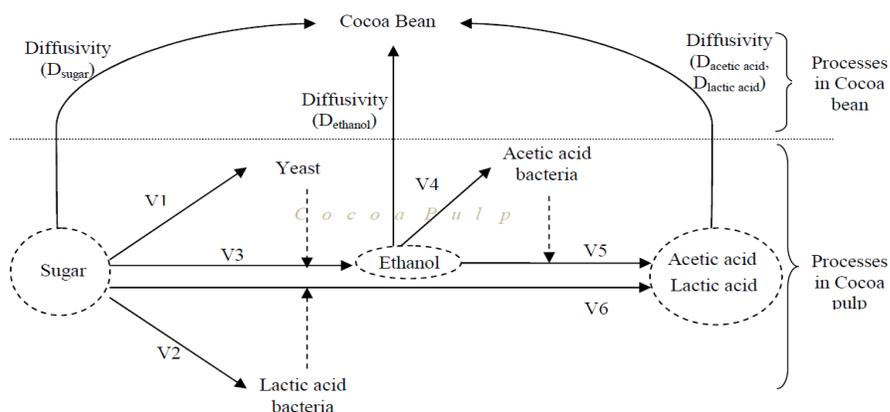
### ***Formulación modelo***

#### ***Definición del sistema de fermentación del grano de cacao***

El modelo de la fermentación del grano de cacao se definió sobre la pulpa del grano de cacao que contiene una gran cantidad de azúcar como la glucosa, la fructosa y la sacarosa [Ec. 7 - 8]. El azúcar fue consumido por microorganismos para las actividades: supervivencia (mantenimiento), crecimiento y producción de productos metabólicos. Los microorganismos involucrados en la

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

fermentación del grano de cacao se simplificaron para ser levadura, bacterias del ácido láctico y bacterias de ácido acético. Los productos metabólicos que se producen durante la fermentación se simplificaron para obtener etanol, ácido láctico y ácido acético. Se asumió que los microorganismos, el azúcar y los productos metabólicos se distribuían homogéneamente sobre la pulpa. Además, una parte del azúcar y los productos metabólicos se pueden difundir a los granos de cacao, induciendo la muerte de los granos de cacao y también sirviendo como precursores para la formación específica de sabores de cacao. Por otro lado, se suponía que los microorganismos permanecían en la pulpa. Este fenómeno se resumió en la Figura 15. El modelo se desarrolló en base al balance masa de cada componente involucrado en la fermentación. (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)



**Figura 14.** Descripción esquemática de la fermentación del grano de cacao

**Fuente:** (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)

El término utilización del sustrato se usó para cubrir el consumo total de azúcar por microorganismos. No se especificó si un proceso en particular utilizó solo glucosa, fructosa o sacarosa. El consumo total de azúcar se utilizó en su lugar. El azúcar como sustrato puede usarse para el crecimiento de microorganismos, la formación de productos metabólicos, el mantenimiento de microorganismos (supervivencia) y algunas partes también pueden difundirse en los granos. La cantidad de azúcar utilizada para el crecimiento de microorganismos fue proporcional al crecimiento de los microorganismos en su interior, y se correlacionó con el parámetro de rendimiento de crecimiento ( $Y_{X/S}$ ). De forma similar, la cantidad de azúcar utilizada para la formación de productos metabólicos y para el mantenimiento fue proporcional a los productos metabólicos producidos y al mantenimiento, y se correlacionó con otros parámetros de rendimiento

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

específicos. La utilización general del sustrato se resumió en la Ec 1, en la que el crecimiento y mantenimiento de los microorganismos debe especificarse más para cada uno de los tres microorganismos implicados en la fermentación, mientras que la formación de productos metabólicos debe especificarse más para cada uno de los tres productos metabólicos implicados en la fermentación. (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)

$$-\frac{d[G]}{dt} = \vartheta_{1R}v_1 + \vartheta_{2BL}v_2 + \vartheta_{3E}v_3 + \vartheta_{6AL}v_6 + D_{azúcar} \cdot [G] \quad (\text{Ec. 1})$$

Utilización del sustrato

Crecimiento microbiano

El crecimiento de cada microorganismo se modeló siguiendo la cinética y muerte simple de Monod, tal como se resumió en la Ec. (2) - (4)

$$\frac{d[R]}{dt} = v_1[R] - k_{d1}[R] \quad (\text{Ec. 2})$$

$$\frac{d[BAA]}{dt} = v_4[BAA] - k_{d2}[BAA] \quad (\text{Ec. 3})$$

$$\frac{d[BAL]}{dt} = v_2[BAL] - k_{d3}[BAL] \quad (\text{Ec. 4})$$

Formación de productos metabólicos

La formación de productos metabólicos se modeló mediante una cinética de primer orden en términos de la concentración de microorganismos relacionados. La formación de etanol se modeló mediante la cinética de concentración de levadura de primer orden (Ec. 5), la formación de ácido láctico se modeló mediante la cinética de primer orden de concentración de bacterias de ácido láctico (Ecuación 6), mientras que la formación de ácido acético se modeló mediante cinética de primer orden de la concentración de bacterias de ácido acético (Ecuación 7). (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)

$$V_3 = k_{etanol}[R] \quad (\text{Ec. 5})$$

$$V_6 = k_{ácido láctico}[BAL] \quad (\text{Ec. 6})$$

$$V_5 = k_{ácido acético}[BAA] \quad (\text{Ec. 7})$$

Difusión de metabolitos

Algunos de los metabolitos producidos, así como el azúcar, pueden difundirse desde la pulpa hasta los granos de cacao. El proceso de difusión de cada componente se modeló siguiendo la cinética de primer orden del componente correspondiente, con el coeficiente de difusión como parámetro del modelo. El modelo matemático general utilizado para describir el proceso de difusión se resume en Tabla 9. (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

$$V_{\text{difusividad azúcar}} = D_{\text{azúcar}} \cdot [G] \quad (\text{Ec. 8})$$

$$V_{\text{difusividad etanol}} = D_{\text{etanol}} \cdot [E] \quad (\text{Ec. 9})$$

$$V_{\text{difusividad ácido láctico}} = D_{\text{ácido láctico}} \cdot [AL] \quad (\text{Ec. 10})$$

$$V_{\text{difusividad ácido acético}} = D_{\text{ácido acético}} \cdot [AA] \quad (\text{Ec. 11})$$

Modelo 1

El Modelo 1 es el modelo más simple de la fermentación del grano de cacao en el que solo se consideró el crecimiento de microorganismos y la formación de productos metabólicos. Se supone que otros aspectos, como la difusión de metabolitos, son insignificantes y, por lo tanto, no están incluidos en el modelo. La descripción completa de este modelo se presenta en la Tabla 9. (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)

El modelo se ajustó a los datos experimentales para obtener los parámetros del modelo. El conjunto de parámetros del modelo que mejor se ajustaron a lo experimental se presenta en la Tabla 10. Las comparaciones entre la simulación del modelo 1 con los datos experimentales se presentan en la Figura 157. (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)

La Figura 18 muestra que el modelo 1 puede describir adecuadamente los fenómenos observados para glucosa y etanol. (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)

**Tabla 8.** Modelo cinético de la fermentación de granos de cacao.

Velocidad	Modelo 1	Modelo 2
$\frac{d[G]}{dt}$	$\vartheta_{1R}v_1 + \vartheta_{2BL}v_2 + \vartheta_{3E}v_3 + \vartheta_{6AL}v_6$	$\vartheta_{1R}v_1 + \vartheta_{2BL}v_2 + \vartheta_{3E}v_3 + \vartheta_{6AL}v_6 + D_{\text{azúcar}} \cdot [G]$
$\frac{d[E]}{dt}$	$\vartheta_3 - \vartheta_{4BA}v_4 - \vartheta_{5AA}v_5$	$\vartheta_3 - \vartheta_{4BA}v_4 - \vartheta_{5AA}v_5 - D_{\text{etanol}}[E]$
$\frac{d[AA]}{dt}$	$v_5$	$v_5 - D_{\text{ácido acético}} \cdot [AA]$
$\frac{d[AL]}{dt}$	$v_6$	$v_6 - D_{\text{ácido láctico}} \cdot [AL]$
$\frac{d[R]}{dt}$	$v_1[R] - k_{d1}[R]$	$v_1[R] - k_{d1}[R]$
$\frac{d[BAA]}{dt}$	$v_4[BAA] - k_{d2}[BAA]$	$v_4[BAA] - k_{d2}[BAA]$
$\frac{d[BAL]}{dt}$	$v_2[BAL] - k_{d3}[BAL]$	$v_2[BAL] - k_{d3}[BAL]$

**Fuente:** (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)

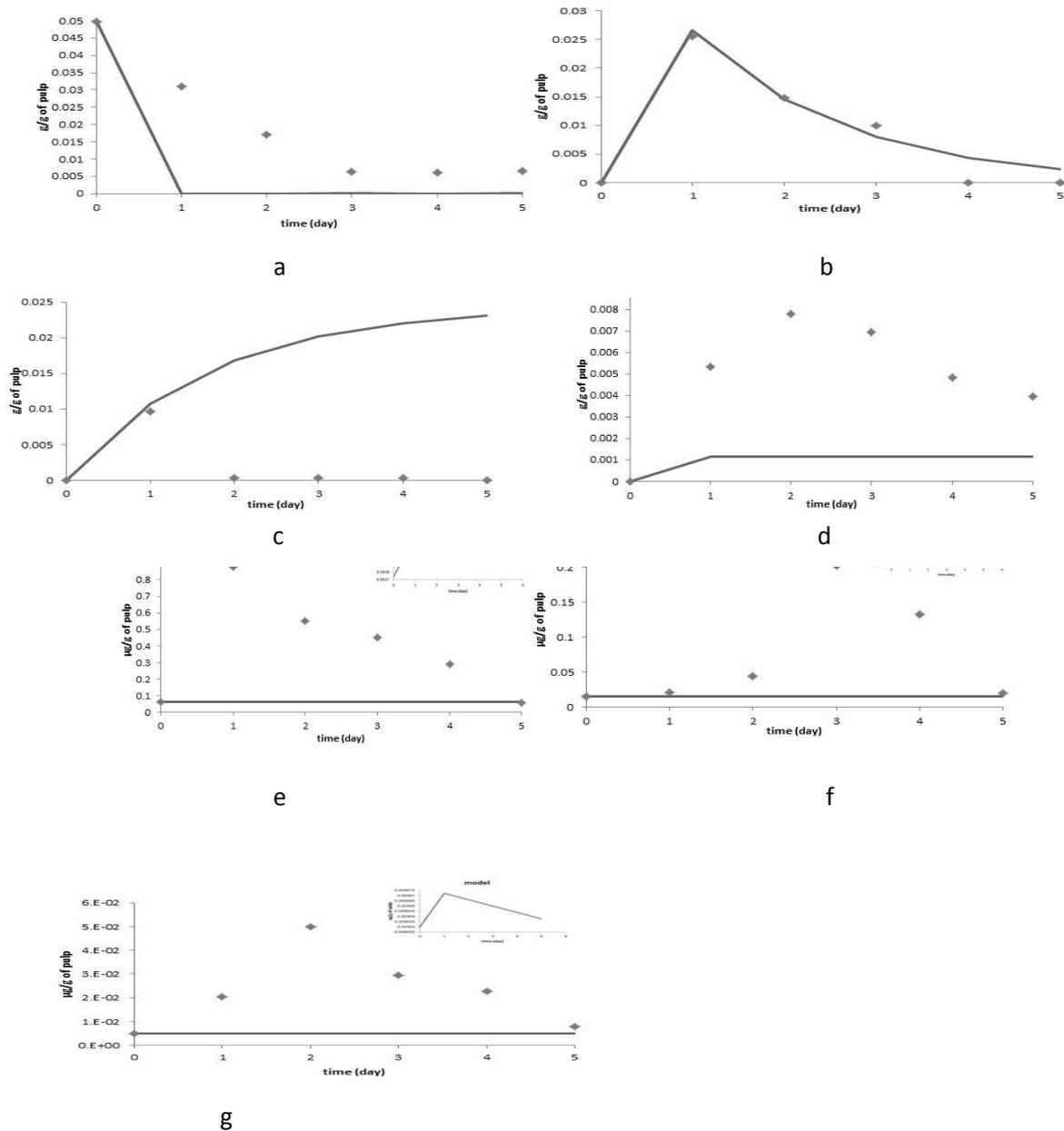
**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Tabla 9.** Parámetros cinéticos estimados de la fermentación de granos de cacao.

Nº	PARAMETRO	MODELO 1	MODELO 2
1	$V_{1max}(h^{-1})$	0.902	0.902
2	$V_{2max}(h^{-1})$	0.547	0.547
3	$V_{4max}(h^{-1})$	0.02	0.02
4	$\alpha_3 \left( \frac{g \text{ de etanol}}{\mu g \text{ de levadura}} \right)$	40.576	40.576
5	$\alpha_5 \left( \frac{g \text{ de AA}}{\mu g \text{ de AAB}} \right)$	25.0003	25.0003
6	$\alpha_6 \left( \frac{g \text{ de AL}}{\mu g \text{ de LAB}} \right)$	30	30
7	$k_{s1} \left( \frac{g}{g \text{ de pulpa}} \right)$	3.966	3.966
8	$k_{s2} \left( \frac{g}{g \text{ de pulpa}} \right)$	3	3
9	$k_{s4} \left( \frac{g}{g \text{ de pulpa}} \right)$	9.008	9.008
10	$k_{d1}(h^{-1})$	$2.6 \times 10^{-6}$	$2.6 \times 10^{-5}$
11	$k_{d2}(h^{-1})$	$5 \times 10^{-5}$	$9 \times 10^{-6}$
12	$k_{d3}(h^{-1})$	$5 \times 10^{-5}$	$5 \times 10^{-5}$
13	$\vartheta_{1R} \left( \frac{g \text{ de levaduras}}{g \text{ de azúcar}} \right)$	0.051	0.051
14	$\vartheta_{2ALB} \left( \frac{g \text{ LAB}}{g \text{ de azúcar}} \right)$	0.012	0.012
15	$\vartheta_{4AAB} \left( \frac{g \text{ AAB}}{g \text{ de etanol}} \right)$	5.5	5.5
16	$\vartheta_{3E} \left( \frac{g \text{ de etanol}}{g \text{ de azúcar}} \right)$	1.946	1.946
17	$\vartheta_{6AL} \left( \frac{g \text{ de AL}}{g \text{ de azúcar}} \right)$	1.569	1.569
18	$\vartheta_{5AA} \left( \frac{g \text{ de AA}}{g \text{ de etanol}} \right)$	15	15
19	$D_g(h^{-1})$	-	$10^{-8}$
20	$D_e(h^{-1})$	-	$8 \times 10^{-5}$
21	$D_{aa}(h^{-1})$	-	0.07
22	$D_{al}(h^{-1})$	-	0.0183

**Fuente:** (Kresnowati, Gunawan, & Mulyadini, 2015)

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**



**Figura 16.** Simulación del modelo 1 frente a datos experimentales de azúcar (a), etanol (b), ácido acético (c), ácido láctico (d), levadura (e), bacterias del ácido acético (f) y ácido láctico (g) (bacterias).

**Fuente:** (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015)

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

### Notación:

- $v_{1max}$  = Tasa de crecimiento específica de la levadura.
- $v_{2max}$  = Tasa de crecimiento específico de bacterias del ácido láctico.
- $v_{4max}$  = Tasa de crecimiento específico de bacterias del ácido acético.
- $k_s$  = Constante de saturación.
- $k_{d1}$  = Constante de disminución de levadura.
- $k_{d2}$  = Constante de disminución de bacterias de ácido acético.
- $k_{d3}$  = Constante de disminución de bacterias de ácido láctico.
- $\alpha, \beta$  = Coeficiente para la tasa de producción asociada al crecimiento.
- $v_{1;2;4}$  = Tasa de crecimiento microbiano (levadura, bacterias del ácido láctico, bacterias del ácido acético).
- $v_{3;5;6}$  = Tasa de producción (etanol, ácido acético, ácido láctico).
- $v_{i,j}$  = Rendimiento del sustrato.
- [G] = Concentración del azúcar.
- [E] = Concentración de etanol.
- [AA] = Concentración de ácido acético.
- [AL] = Concentración de ácido láctico.
- [R] = Concentración de levadura.
- [BAA] = Concentración de bacterias de ácido acético.
- [BAL] = Concentración de bacterias de ácido láctico.
- $D_i$  = coeficiente de transporte del compuesto.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**EXPERIMENTACIÓN**

*Datos:*

**TRATAMIENTO 1**

**Tabla 10. Datos para el tratamiento 1- Cacao Nacional y  
CCN51**

<b>Muestra</b>	<b>Variedad</b>	<b>Código</b>	<b>Vainas</b>	<b>Número</b>	<b>Parte del Cacao</b>
1	Cacao Arriba	M1A	10	489	Almendra
1	CCN51	M1C	10	601	Almendra
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CACAO</b>			
		<b>NACIONAL (A)</b>		<b>CCN51 (C)</b>	
		<b>ALMENDRAS</b>	<b>CODIGO</b>	<b>ALMENDRAS</b>	<b>CODIGO</b>
19/03/2018	9AM	15	M1A1	15	M1C1
	10AM	15	M1A2	15	M1C2
	11AM	15	M1A3	15	M1C3
	12PM	15	M1A4	15	M1C4
	1PM	15	M1A5	15	M1C5
	2PM	15	M1A6	15	M1C6
	3PM	15	M1A7	15	M1C7
	4PM	15	M1A8	15	M1C8
	5PM	15	M1A9	15	M1C9
	6PM	15	M1A10	15	M1C10
	7PM	15	M1A11	15	M1C11
	8PM	15	M1A12	15	M1C12
20/03/2018	9AM	15	M1A13	15	M1C13
	10AM	15	M1A14	15	M1C14
	11AM	15	M1A15	15	M1C15
	12PM	15	M1A16	15	M1C16
	1PM	15	M1A17	15	M1C17
	2PM	15	M1A18	15	M1C18
	3PM	15	M1A19	15	M1C19
	4PM	15	M1A20	15	M1C20
<b>TOTAL</b>		<b>300</b>		<b>300</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Resultados:**

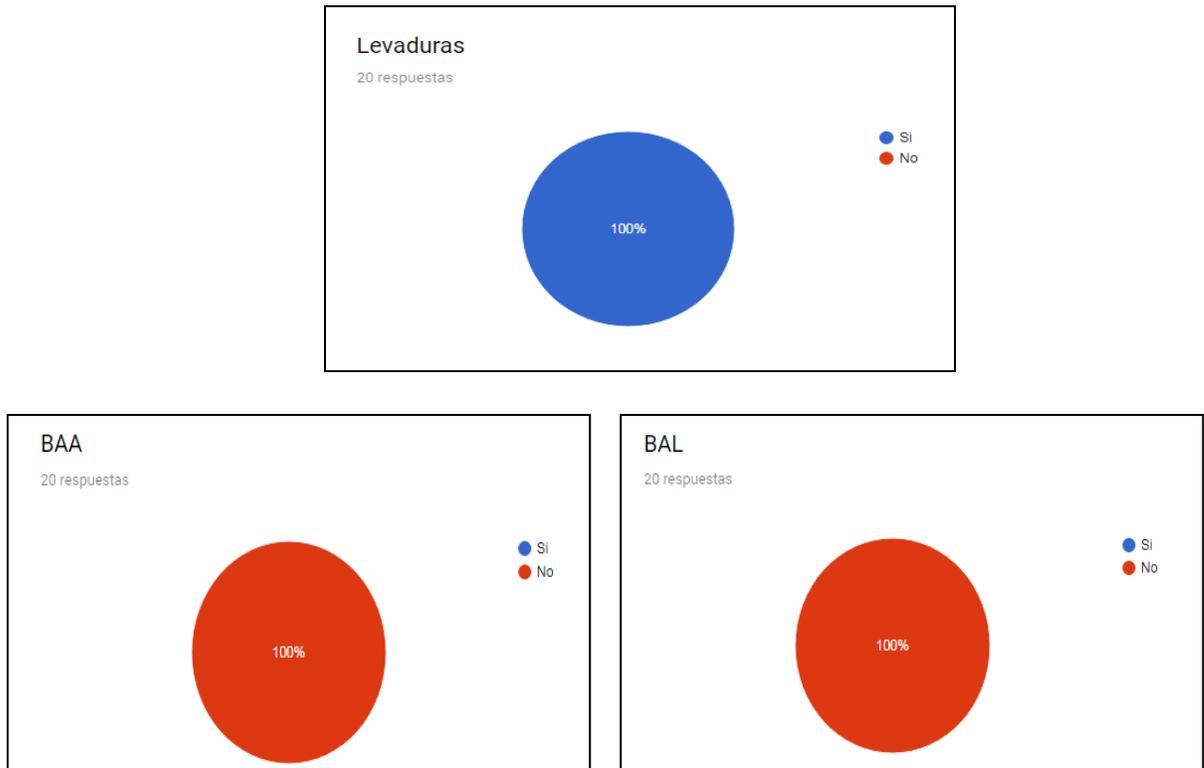
**Tabla 11.** Microorganismos presentes en el Cacao Nacional (A)

<b>CACAO</b>	<b>LEVADURAS</b>	<b>BAL</b>	<b>BAA</b>
<b>NACIONAL (A)</b>	<b>COLONIAS</b>	<b>COLONIAS</b>	<b>COLONIAS</b>
M1A1	SI	NO	NO
M1A2	SI	NO	NO
M1A3	SI	NO	NO
M1A4	SI	NO	NO
M1A5	SI	NO	NO
M1A6	SI	NO	NO
M1A7	SI	NO	NO
M1A8	SI	NO	NO
M1A9	SI	NO	NO
M1A10	SI	NO	NO
M1A11	SI	NO	NO
M1A12	SI	NO	NO
M1A13	SI	NO	NO
M1A14	SI	NO	NO
M1A15	SI	NO	NO
M1A16	SI	NO	NO
M1A17	SI	NO	NO
M1A18	SI	NO	NO
M1A19	SI	NO	NO
M1A20	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Figura 17. Identificación de microorganismos Tratamiento 1- Cacao Nacional**



**Fuente:** Elaboración propia.

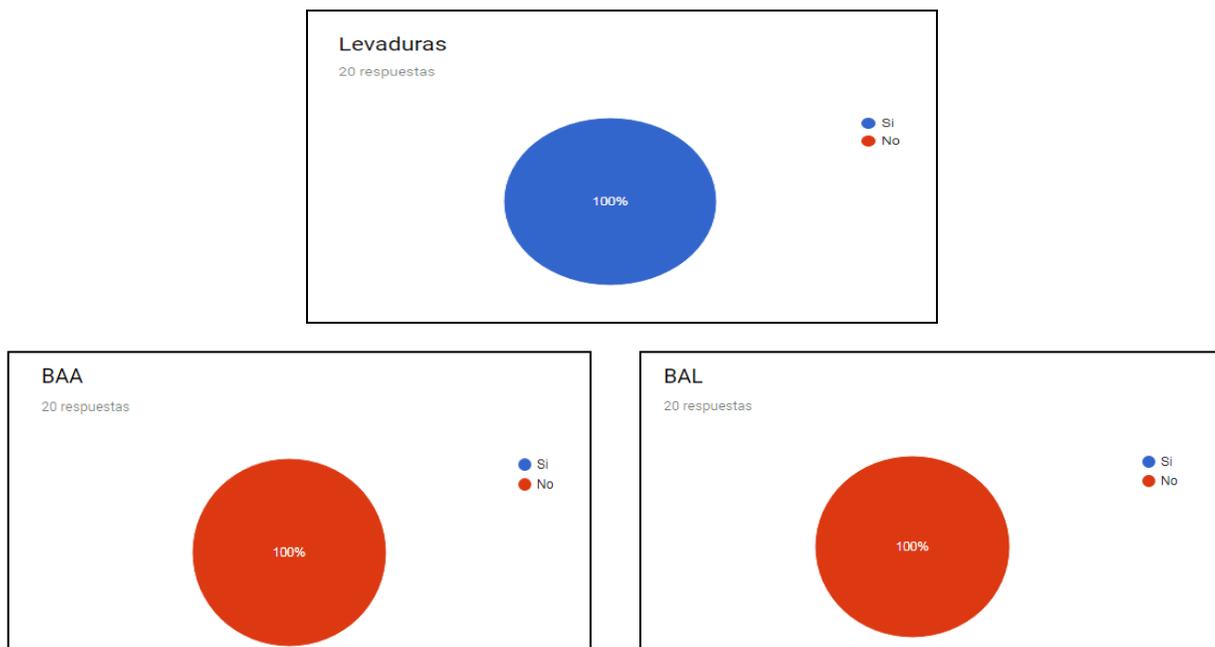
**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Tabla 12.** Microorganismos presentes en el Cacao CCN51(C)

CACAO	LEVADURAS	BAL	BAA
CCN51 (C)	COLONIAS	COLONIAS	COLONIAS
M1C1	SI	NO	NO
M1C2	SI	NO	NO
M1C3	SI	NO	NO
M1C4	SI	NO	NO
M1C5	SI	NO	NO
M1C6	SI	NO	NO
M1C7	SI	NO	NO
M1C8	SI	NO	NO
M1C9	SI	NO	NO
M1C10	SI	NO	NO
M1C11	SI	NO	NO
M1C12	SI	NO	NO
M1C13	SI	NO	NO
M1C14	SI	NO	NO
M1C15	SI	NO	NO
M1C16	SI	NO	NO
M1C17	SI	NO	NO
M1C18	SI	NO	NO
M1C19	SI	NO	NO
M1C20	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 18.** Identificación de microorganismos Tratamiento 1- Cacao CCN51



**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

*Datos:*

**TRATAMIENTO 2**

**Tabla 13. Datos para el tratamiento 2- Cacao Nacional y CCN-51**

<b>Muestra</b>	<b>Variedad</b>	<b>Código</b>	<b>Vainas</b>	<b>Número</b>	<b>Parte del Cacao</b>
2	Cacao Arriba	M2A	10	487	Almendra
2	CCN51	M2C	10	566	Almendra
<b>FECHA</b>	<b>HORA</b>	<b>CACAO</b>			
		<b>NACIONAL (A)</b>		<b>CCN51 (C)</b>	
		<b>ALMENDRAS</b>	<b>CODIGO</b>	<b>ALMENDRAS</b>	<b>CODIGO</b>
02/04/2018	10AM	15	M2A1	15	M2C1
	12PM	15	M2A2	15	M2C2
	2PM	15	M2A3	15	M2C3
	4PM	15	M2A4	15	M2C4
	6PM	15	M2A5	15	M2C5
	8PM	15	M2A6	15	M2C6
03/04/2018	10AM	15	M2A7	15	M2C7
	12PM	15	M2A8	15	M2C8
	2PM	15	M2A9	15	M2C9
	4PM	15	M2A10	15	M2C10
	6PM	15	M2A11	15	M2C11
	8PM	15	M2A12	15	M2C12
<b>TOTAL</b>		<b>180</b>		<b>180</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

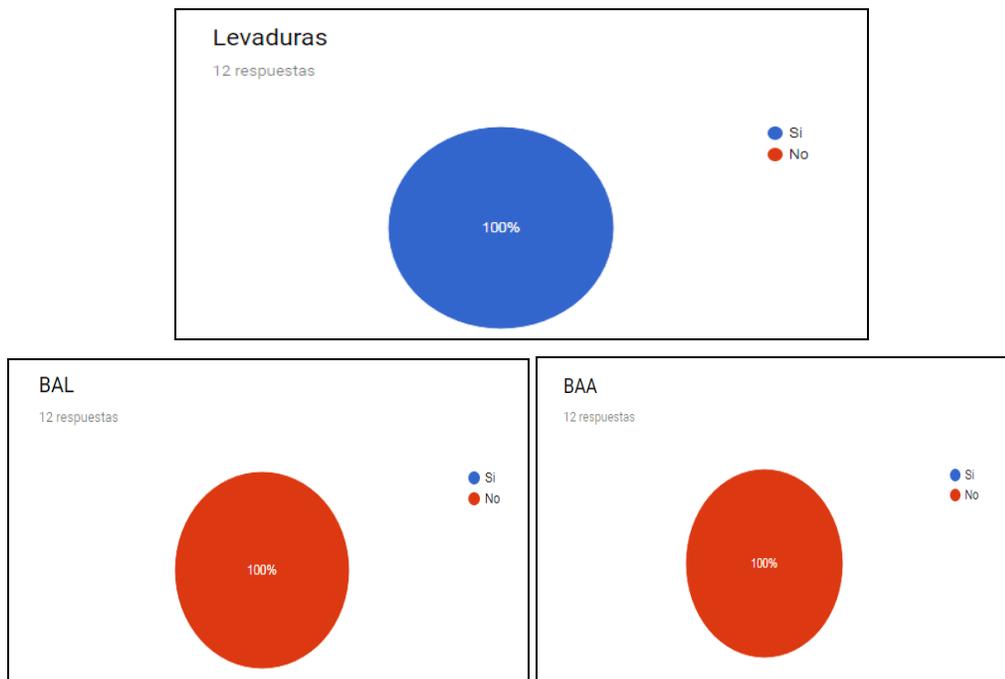
**Resultados:**

**Tabla 14.** Microorganismos presentes en el Cacao Nacional (A)

CACAO	LEVADURAS	BAL	BAA
NACIONAL (A)	COLONIAS	COLONIAS	COLONIAS
M2A1	SI	NO	NO
M2A2	SI	NO	NO
M2A3	SI	NO	NO
M2A4	SI	NO	NO
M2A5	SI	NO	NO
M2A6	SI	NO	NO
M2A7	SI	NO	NO
M2A8	SI	NO	NO
M2A9	SI	NO	NO
M2A10	SI	NO	NO
M2A11	SI	NO	NO
M2A12	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 19.** Identificación de microorganismos Tratamiento 2- Cacao Nacional



**Fuente:** Elaboración propia.

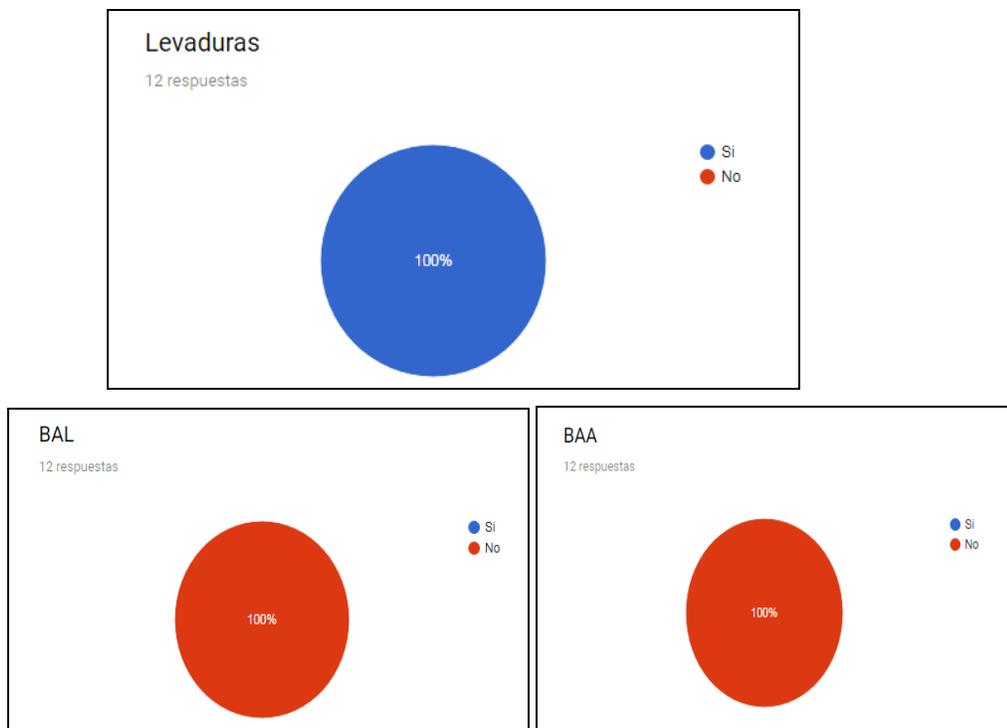
**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Tabla 15.** Microorganismos presentes en el Cacao CCN-51 (C)

CACAO	LEVADURAS	BAL	BAA
CCN51 (C)	COLONIAS	COLONIAS	COLONIAS
M2C1	SI	NO	NO
M2C2	SI	NO	NO
M2C3	SI	NO	NO
M2C4	SI	NO	NO
M2C5	SI	NO	NO
M2C6	SI	NO	NO
M2C7	SI	NO	NO
M2C8	SI	NO	NO
M2C9	SI	NO	NO
M2C10	SI	NO	NO
M2C11	SI	NO	NO
M2C12	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 20.** Identificación de microorganismos Tratamiento 2- CCN51



**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

*Datos:*

**TRATAMIENTO 3**

**Tabla 16. Datos para el tratamiento 3 Cacao Nacional y CCN-51**

FECHA	HORA	CACAO			
		NACIONAL (A)		CCN51 (C)	
		ALMENDRAS	CODIGO	ALMENDRAS	CODIGO
07/05/2018	8AM	15	M3A1	15	M3C1
	12PM	15	M3A2	15	M3C2
	4PM	15	M3A3	15	M3C3
	8PM	15	M3A4	15	M3C4
08/05/2018	8AM	15	M3A5	15	M3C5
	12PM	15	M3A6	15	M3C6
	4PM	15	M3A7	15	M3C7
	8PM	15	M3A8	15	M3C8
09/05/2018	8AM	15	M3A9	15	M3C9
	12PM	15	M3A10	15	M3C10
	4PM	15	M3A11	15	M3C11
	8PM	15	M3A12	15	M3C12
<b>TOTAL</b>		<b>180</b>		<b>180</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.

*Resultados:*

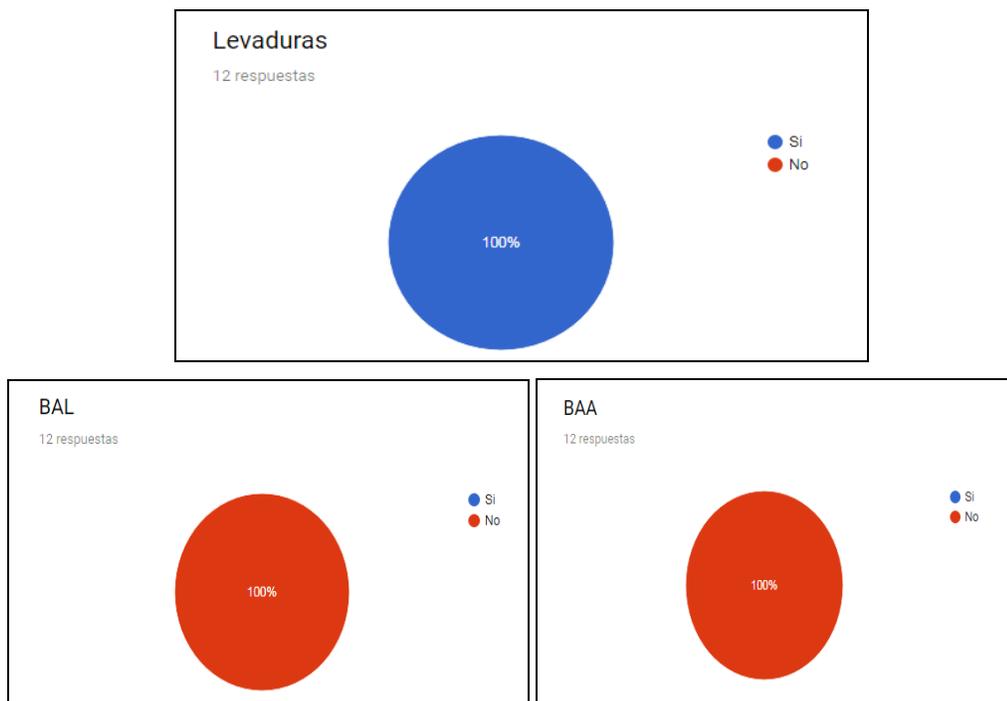
**Tabla 17. Microorganismos presentes en el Cacao Nacional (A)**

CACAO	LEVADURAS	BAL	BAA
NACIONAL (A)	COLONIAS	COLONIAS	COLONIAS
M3A1	SI	NO	NO
M3A2	SI	NO	NO
M3A3	SI	NO	NO
M3A4	SI	NO	NO
M3A5	SI	NO	NO
M3A6	SI	NO	NO
M3A7	SI	NO	NO
M3A8	SI	NO	NO
M3A9	SI	NO	NO
M3A10	SI	NO	NO
M3A11	SI	NO	NO
M3A12	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Figura 21. Identificación de microorganismos Tratamiento 3- Cacao Nacional**



**Fuente:** Elaboración propia.

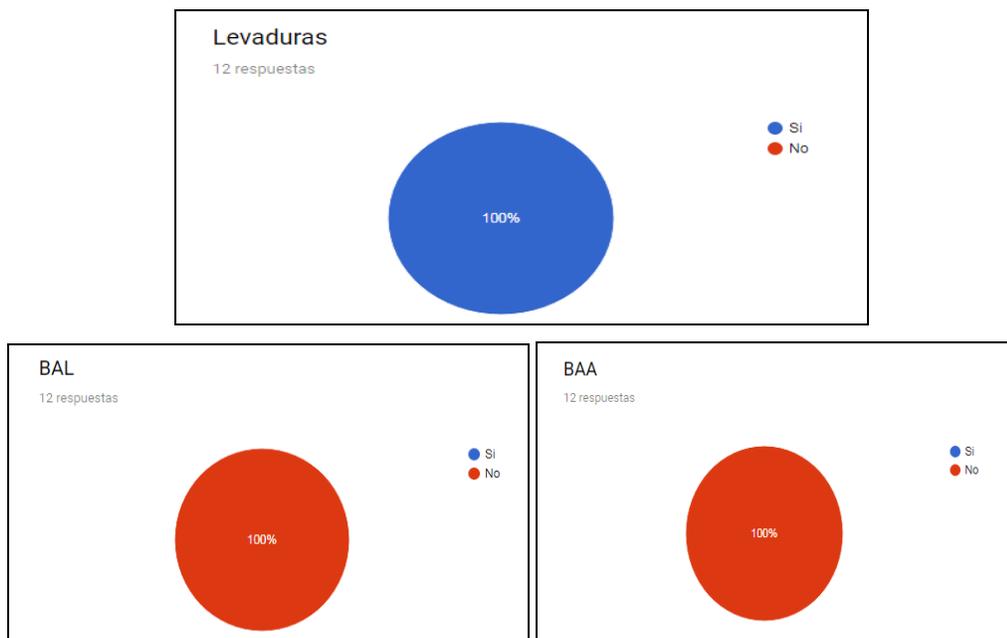
**Tabla 18.** Microorganismos presentes en el Cacao CCN-51 (C)

CACAO	LEVADURAS	BAL	BAA
CCN51 (C)	COLONIAS	COLONIAS	COLONIAS
M3C1	SI	NO	NO
M3C2	SI	NO	NO
M3C3	SI	NO	NO
M3C4	SI	NO	NO
M3C5	SI	NO	NO
M3C6	SI	NO	NO
M3C7	SI	NO	NO
M3C8	SI	NO	NO
M3C9	SI	NO	NO
M3C10	SI	NO	NO
M3C11	SI	NO	NO
M3C12	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Figura 22. Identificación de microorganismos Tratamiento 3- CCN-51**



**Fuente:** Elaboración propia.

*Datos:*

**TRATAMIENTO 4**

**Tabla 19. Datos para el tratamiento 4 del Cacao Nacional y CCN51**

FECHA	HORA	CACAO			
		NACIONAL (A)		CCN51 (C)	
		ALMENDRAS	CODIGO	ALMENDRAS	CODIGO
04/06/2018	8AM	15	M4A1	15	M4C1
	6PM	15	M4A2	15	M4C2
05/06/2018	8AM	15	M4A3	15	M4C3
	6PM	15	M4A4	15	M4C4
06/06/2018	8AM	15	M4A5	15	M4C5
	6PM	15	M4A6	15	M4C6
07/06/2018	8AM	15	M4A7	15	M4C7
	6PM	15	M4A8	15	M4C8
08/06/2018	8AM	15	M4A9	15	M4C9
	6PM	15	M4A10	15	M4C10
TOTAL		<b>150</b>		<b>150</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

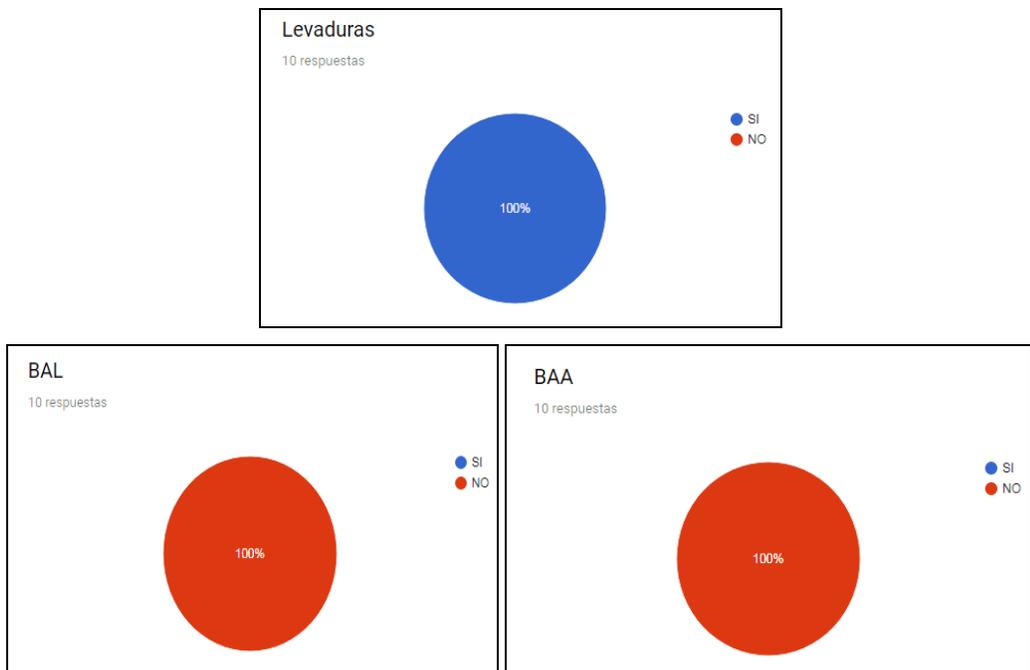
**Resultados:**

**Tabla 20.** Microorganismos presentes en el Cacao Nacional (A)

CACAO	LEVADURAS	BAL	BAA
NACIONAL (A)	COLONIAS	COLONIAS	COLONIAS
M4A1	SI	NO	NO
M4A2	SI	NO	NO
M4A3	SI	NO	NO
M4A4	SI	NO	NO
M4A5	SI	NO	NO
M4A6	SI	NO	NO
M4A7	SI	NO	NO
M4A8	SI	NO	NO
M4A9	SI	NO	NO
M4A10	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 23.** Identificación de microorganismos Tratamiento 4- Cacao Nacional



**Fuente:** Elaboración propia.

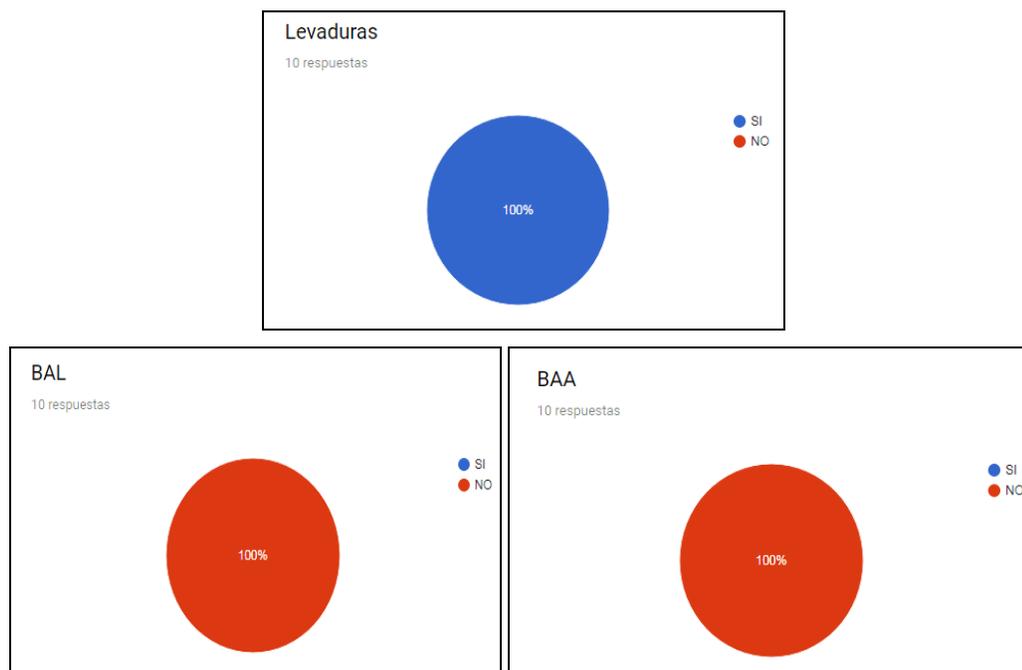
**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Tabla 21.** Microorganismos presentes en el Cacao CCN-51 (C)

CACAO	LEVADURAS	BAL	BAA
CCN51 (C)	COLONIAS	COLONIAS	COLONIAS
M4C1	SI	NO	NO
M4C2	SI	NO	NO
M4C3	SI	NO	NO
M4C4	SI	NO	NO
M4C5	SI	NO	NO
M4C6	SI	NO	NO
M4C7	SI	NO	NO
M4C8	SI	NO	NO
M4C9	SI	NO	NO
M4C10	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 24. Identificación de microorganismos Tratamiento 4- Cacao CCN-51**



**Fuente:** Elaboración propia.

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En los tratamientos 1, 2, 3, y 4 realizados en la ciudad de Quito, fue exitosa la identificación de colonias de levaduras (Figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25) que saturaban las placas de siembra.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

Estos tratamientos, no permitieron identificar bacterias del ácido láctico ni bacterias del ácido acético (Figuras 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24 y 25).

Al no poderse replicar el modelo cinético propuesto por (Kresnowati, Gunawan, & Muliadini, 2015), por no identificarse el consorcio de microorganismos (levaduras, bacterias del ácido láctico y bacterias del ácido acético) se decidió continuar la réplica del modelo cinético en El Empalme provincia del Guayas.

*Datos:*

**TRATAMIENTO 5**

*Ubicación:* Empalme-Guayas

**Tabla 22. Datos para el Tratamiento 5 del Cacao Nacional y CCN51**

FECHA	HORA	CACAO			
		NACIONAL (A)		CCN51 (C)	
		ALMENDRAS	CODIGO	ALMENDRAS	CODIGO
04/07/2018	8AM	15	M5A1	15	M5C1
	6PM	15	M5A2	15	M5C2
05/07/2018	4AM	15	M5A3	15	M5C3
	2PM	15	M5A4	15	M5C4
06/07/2018	12AM	15	M5A5	15	M5C5
	10AM	15	M5A6	15	M5C6
	8PM	15	M5A7	15	M5C7
07/07/2018	6AM	15	M5A8	15	M5C8
	4PM	15	M5A9	15	M5C9
08/07/2018	2AM	15	M5A10	15	M5C10
	12PM	15	M5A11	15	M5C11
	10PM	15	M5A12	15	M5C12
TOTAL		<b>180</b>		<b>180</b>	

**Fuente:** Elaboración propia.

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

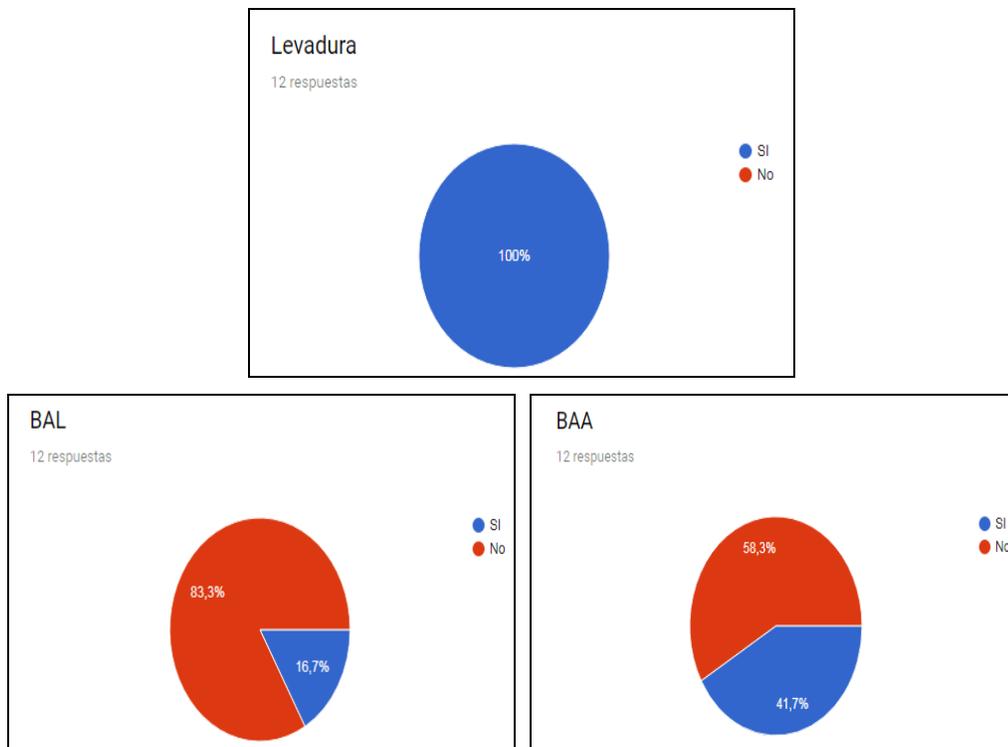
**Resultados:**

**Tabla 23.** Microorganismos presentes en el Cacao Nacional (A)

CACAO	LEVADURAS	BAL	BAA
NACIONAL (A)	COLONIAS	COLONIAS	COLONIAS
M5A1	SI	NO	NO
M5A2	SI	NO	NO
M5A3	SI	SI	NO
M5A4	SI	SI	NO
M5A5	SI	NO	SI
M5A6	SI	NO	SI
M5A7	SI	NO	SI
M5A8	SI	NO	SI
M5A9	SI	NO	SI
M5A10	SI	NO	NO
M5A11	SI	NO	NO
M5A12	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 25.** Identificación de microorganismos Tratamiento 5- Cacao Nacional



**Fuente:** Elaboración propia.

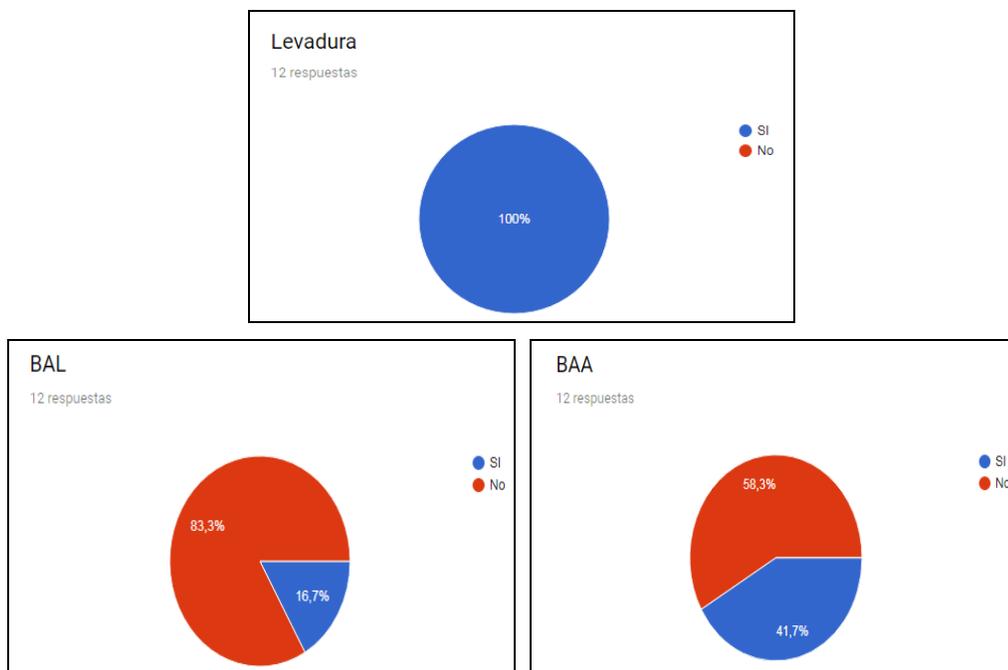
**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Tabla 24.** Microorganismos presentes en el Cacao CCN-51 (C)

CACAO	LEVADURAS	BAL	BAA
CCN51 (C)	COLONIAS	COLONIAS	COLONIAS
M5C1	SI	NO	NO
M5C2	SI	NO	NO
M5C3	SI	NO	NO
M5C4	SI	SI	NO
M5C5	SI	SI	NO
M5C6	SI	NO	SI
M5C7	SI	NO	SI
M5C8	SI	NO	SI
M5C9	SI	NO	SI
M5C10	SI	NO	SI
M5C11	SI	NO	NO
M5C12	SI	NO	NO

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 26.** Identificación de microorganismos Tratamiento 5- Cacao CCN-51



**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el tratamiento 5 en el Empalme provincia del Guayas, se identificaron levaduras, bacterias del ácido láctico y bacterias del ácido acético (Figuras 26 y 27).

En el tratamiento 5 se tomaron 12 muestras durante 5 días en un intervalo de tiempo de 10 horas cada una, identificándose el 16,7% de bacterias del ácido láctico del total de la muestra, para las dos variedades de cacao (Tabla 23). La aparición no se da de forma simultánea en el tiempo pero si en el porcentaje (Tabla 24 y 25) (Figuras 26 y 27).

En este mismo tratamiento se identificó el 41,7% (Figura 26-27) la presencia de bacterias del ácido acético.

Al identificarse este consorcio de microorganismos se puede cuantificar la presencia de los productos como etanol, ácido acético y ácido láctico.

**TRATAMIENTO 6**

*Ubicación:* Empalme-Guayas

*Datos cuantitativos de pH y temperatura.*

**Tabla 25. Datos del tratamiento 6 para cacao Nacional y CCN-51**

FECHA	HORA	CACAO			
		NACIONAL (A)		CCN51 (C)	
		ALMENDRAS	CODIGO	ALMENDRAS	CODIGO
06/08/2018	8AM	1000	M6A1	1000	M6C1
	6PM	1000	M6A2	1000	M6C2
07/08/2018	4AM	1000	M6A3	1000	M6C3
	2PM	1000	M6A4	1000	M6C4
08/08/2018	12AM	1000	M6A5	1000	M6C5
	10AM	1000	M6A6	1000	M6C6
	8PM	1000	M6A7	1000	M6C7
09/08/2018	6AM	1000	M6A8	1000	M6C8
	4PM	1000	M6A9	1000	M6C9
10/08/2018	2AM	1000	M6A10	1000	M6C10
	12PM	1000	M6A11	1000	M6C11
	10PM	1000	M6A12	1000	M6C12

**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

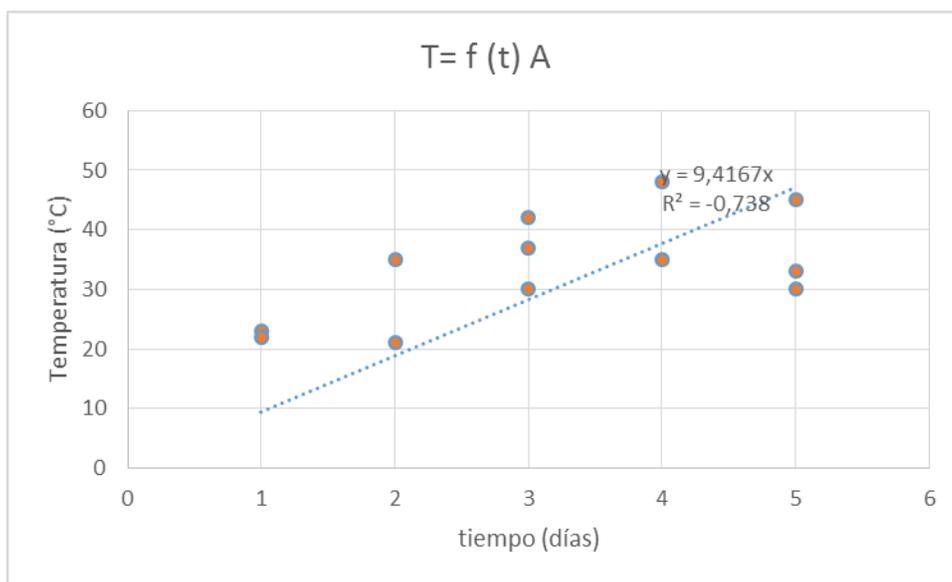
**Resultados:**

**Tabla 26.** Temperatura y pH del Cacao Nacional (A)

CACAO NACIONAL (A) CODIGO	PULPA	
	TEMPERATURA	pH
	°C	
M6A1	23	2
M6A2	22	2
M6A3	21	3
M6A4	35	3
M6A5	30	4
M6A6	42	4
M6A7	37	4
M6A8	35	5
M6A9	48	5
M6A10	45	6
M6A11	33	6
M6A12	30	6

**Fuente:** Elaboración propia.

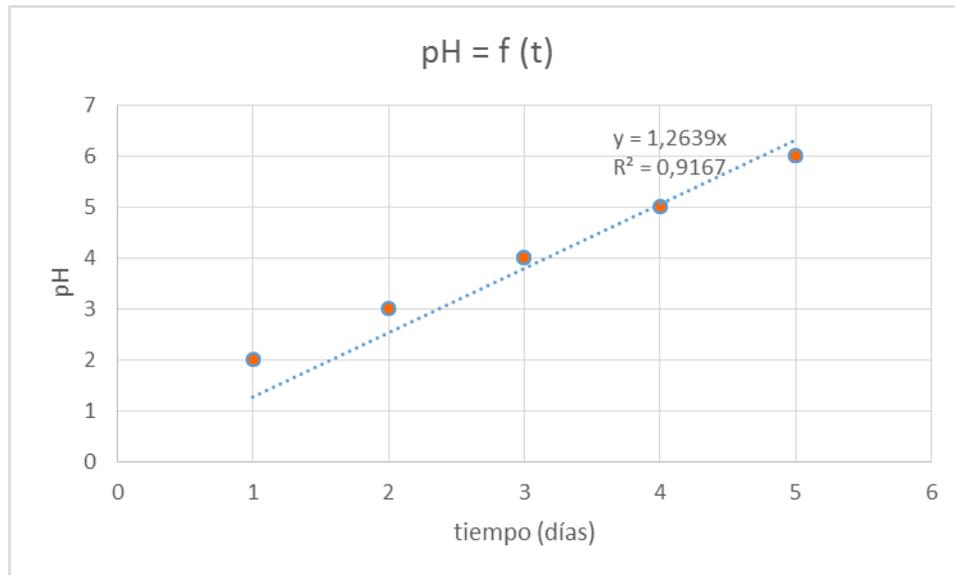
**Figura 27.** Gráfica de la temperatura en función del tiempo cacao Nacional.



**Fuente:** Elaboración propia.

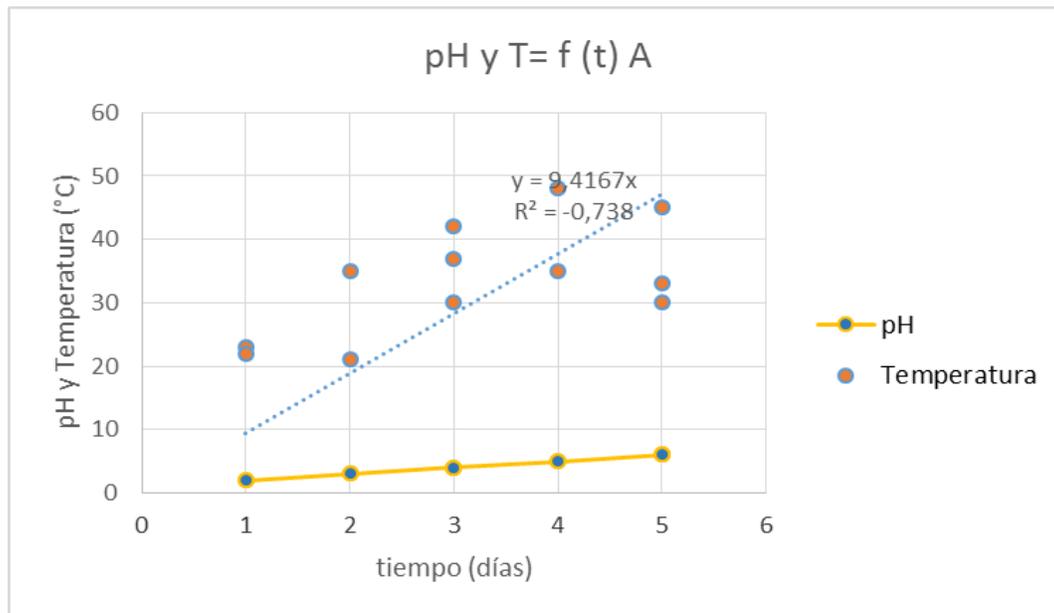
**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Figura 28. Gráfica del pH en función del tiempo cacao Nacional**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 29. Variación de pH y temperatura en el tiempo cacao Nacional**



**Fuente:** Elaboración propia.

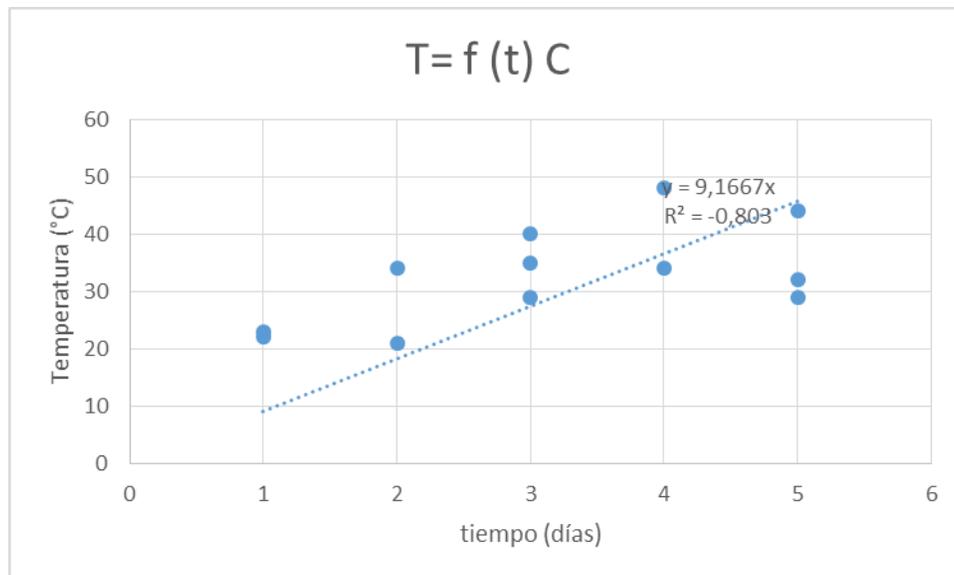
**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Tabla 27.** Temperatura y pH del Cacao CCN-51 (C)

CACAO CCN51 (C) CODICO	PULPA	
	TEMPERATURA	pH
	°C	
M6C1	23	2
M6C2	22	2
M6C3	21	2
M6C4	34	3
M6C5	29	3
M6C6	40	4
M6C7	35	4
M6C8	34	4
M6C9	48	5
M6C10	44	5
M6C11	32	6
M6C12	29	6

**Fuente:** Elaboración propia.

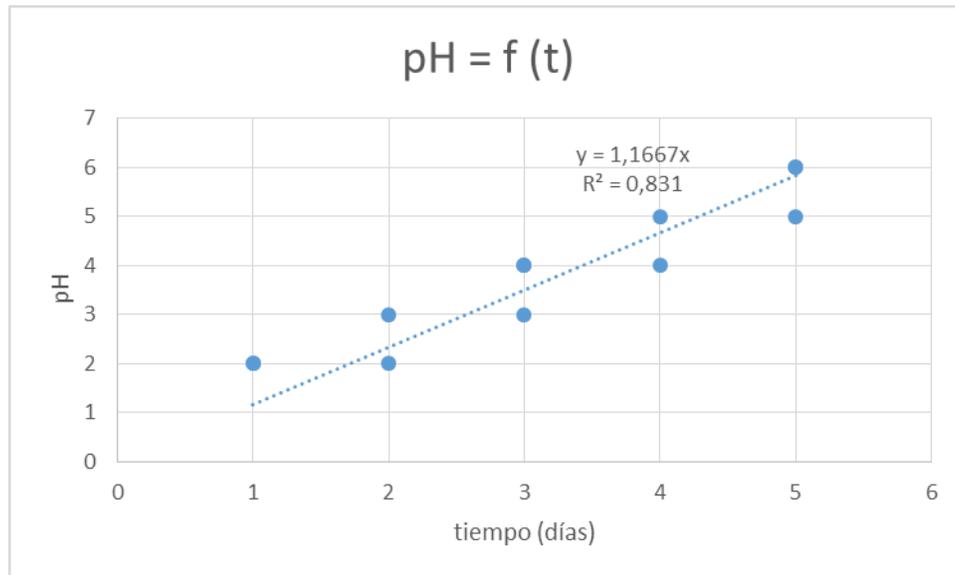
**Figura 30.** Gráfica de la Temperatura en función del tiempo Cacao CCN-51 (C).



**Fuente:** Elaboración propia.

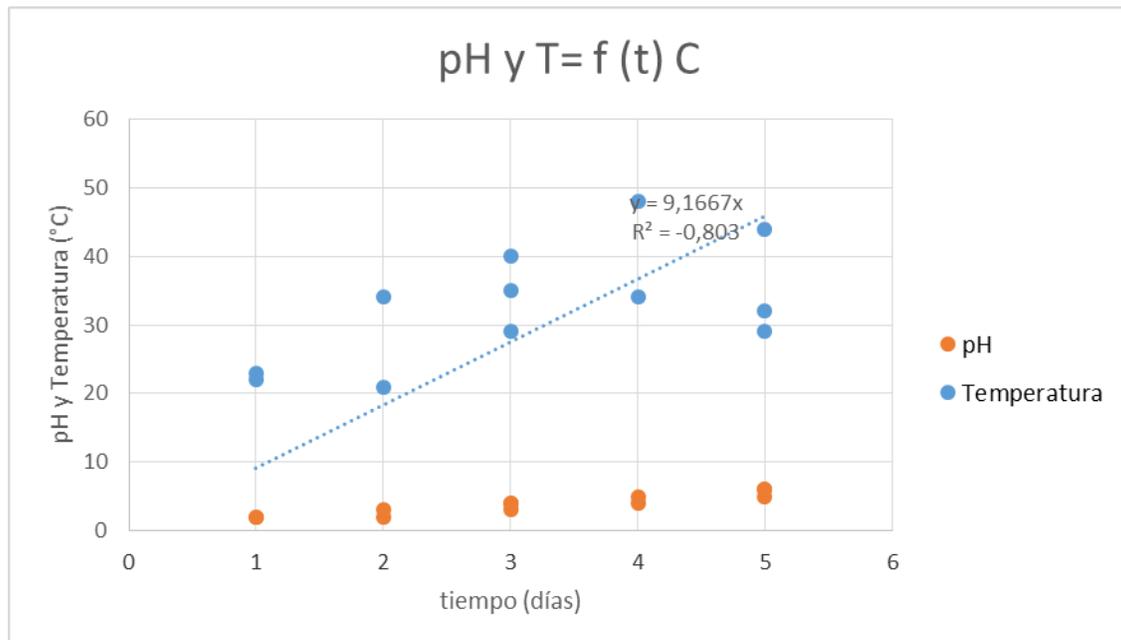
**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Figura 31. Gráfica del pH en función del tiempo Cacao CCN-51 (C).**



**Fuente:** Elaboración propia.

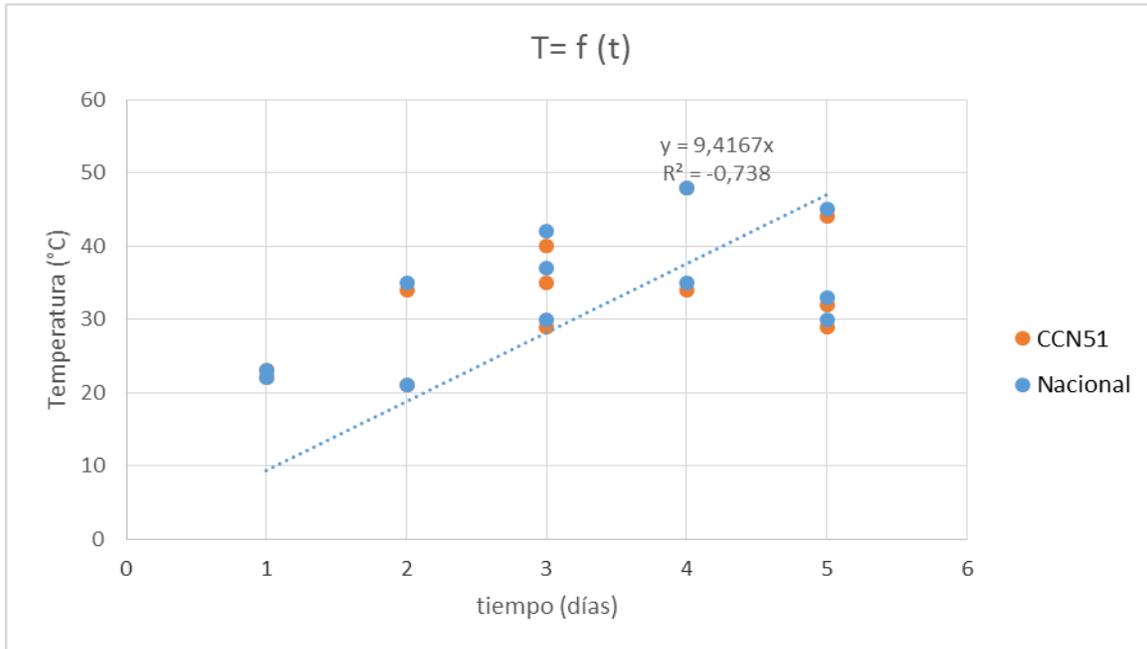
**Figura 32. Variación de pH y temperatura en el tiempo Cacao CCN-51 (C).**



**Fuente:** Elaboración propia.

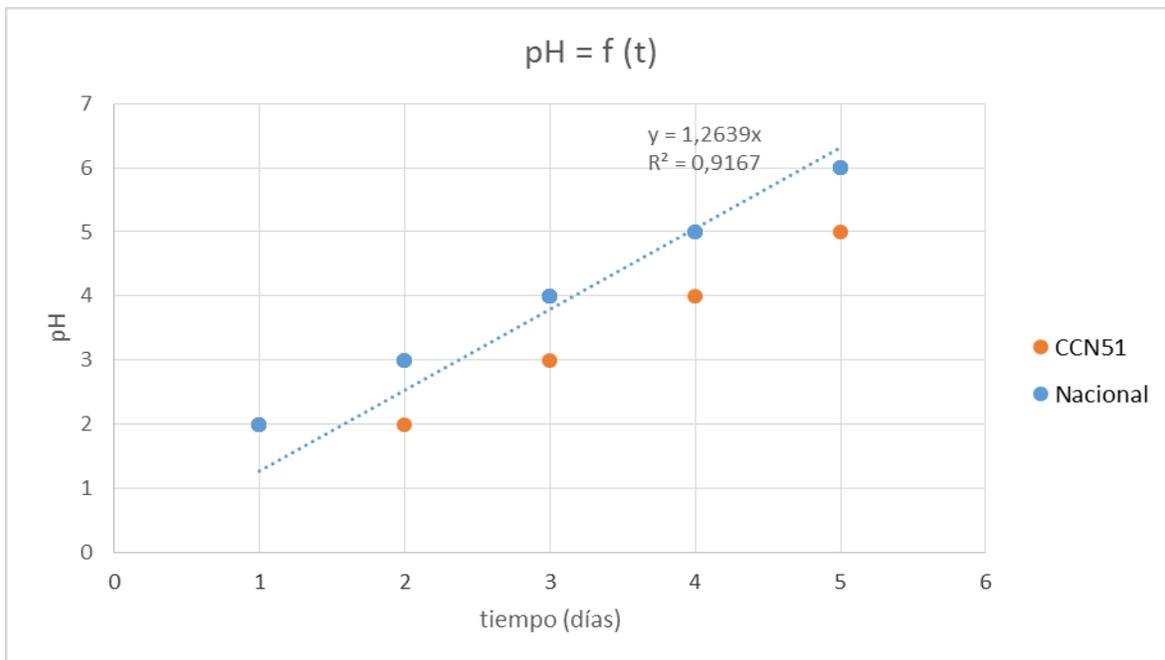
**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Figura 33. Comparación de perfiles de temperatura del Cacao Nacional y CCN51**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 34. Comparación de perfiles de pH del Cacao Nacional y CCN51**



**Fuente:** Elaboración propia.

# **DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el tratamiento 6 se tomaron 12 muestras durante 5 días en un intervalo de 10 horas cada una (Tabla 26), se identificó en el cacao Nacional la variación de pH de 2 (ácido: niveles de acidez y astringencia) a 6 (menos ácido: bajos niveles de acidez y astringencia) (Tabla 27) (Figura 29). La temperatura en el fermentador fluctúa de 23°C a un pico de 48°C hasta descender a 30°C (Tabla 27) (Figura 28).

Al comparar el pH y la temperatura del cacao Nacional en el fermentador (Figura 30) este va en ascenso mientras la temperatura fluctúa por el consorcio de microorganismos y su actividad de producción de metabolitos (precursores del sabor y aroma del chocolate).

En el mismo tratamiento 6 en la variedad CCN51 la temperatura fluctúa de 23 hasta alcanzar el mismo pico del cacao Nacional de 48°C y desciende a 29°C (Tabla 28) (Figura 31). El pH fluctúa de 2 a 6 (ácido a menos ácido) con más cambios que el cacao Nacional (Figura 32).

Al comparar el pH y la temperatura del cacao CCN51 en el fermentador (Figura 33) la actividad (producción de metabolitos) es más lenta que en el cacao Nacional.

Al comparar los perfiles de temperatura del cacao Nacional y CCN51 en el tratamiento 6 (Figura 34), el cacao Nacional experimenta perfiles de temperatura más altos que los del cacao CCN51, por lo que existe más actividad del consorcio de microorganismos.

Al comparar los perfiles de pH del cacao Nacional y CCN51 en el tratamiento 6 (Figura 35), el cacao Nacional experimenta perfiles de pH más altos que los del cacao CCN51, por lo que existe más cambios de acidez y astringencia, que posteriormente se traduce en sabor fino.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**TRATAMIENTO 7**

*Ubicación:* Empalme-Guayas

**Tabla 28.** Datos para el tratamiento 7 del Cacao Nacional y CCN-51.

FECHA	HORA	CACAO			
		NACIONAL (A)		CCN51 (C)	
		ALMENDRAS	CODIGO	ALMENDRAS	CODIGO
03/09/2018	8AM	1000	M7A1	1000	M7C1
	6PM	1000	M7A2	1000	M7C2
04/09/2018	4AM	1000	M7A3	1000	M7C3
	2PM	1000	M7A4	1000	M7C4
05/09/2018	12AM	1000	M7A5	1000	M7C5
	10AM	1000	M7A6	1000	M7C6
	8PM	1000	M7A7	1000	M7C7
06/09/2018	6AM	1000	M7A8	1000	M7C8
	4PM	1000	M7A9	1000	M7C9
07/09/2018	2AM	1000	M7A10	1000	M7C10
	12PM	1000	M7A11	1000	M7C11
	10PM	1000	M7A12	1000	M7C12

**Fuente:** Elaboración propia.

*Resultados:*

**Tabla 29.** Cuantificación de etanol, ácido acético y ácido láctico del Cacao Nacional (A)

CACAO	PULPA		LIQUIDO		
	TEMPERATURA	pH	ETANOL	ACIDO LACTICO	ACIDO ACETICO
			ml	ml	ml
<b>NACIONAL (A)</b>	°C				
<b>CODIGO</b>					
M7A1	23	2	-	-	
M7A2	22	2	0.5	-	0.2
M7A3	21	3	1.2	0.3	0.8
M7A4	35	3	1.3	0.5	0.5
M7A5	30	4	1.5	-	0.6
M7A6	42	4	1.7	-	1
M7A7	37	4	1.8	-	1.4
M7A8	35	4	2	-	1.5
M7A9	48	5	2.3	-	1.6
M7A10	45	5	-	-	-
M7A11	33	6	-	-	-
M7A12	30	6	-	-	-

**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Tabla 30.** Cuantificación de etanol, ácido acético y ácido láctico del Cacao CCN51 (C)

CACAO CCN51 (C) CODIGO	PULPA		LIQUIDO		
	TEMPERATURA	pH	ETANOL	ACIDO LACTICO	ACIDO ACETICO
	°C		ml	ml	ml
M7C1	23	2	-	-	-
M7C2	22	3	0.3	-	0.1
M7C3	21	3	0.6	-	0.3
M7C4	34	4	0.9	0.1	0.5
M7C5	29	4	1.5	0.2	1.3
M7C6	40	4	1.6	-	1.4
M7C7	35	5	1.8	-	1.4
M7C8	34	5	2.2	-	1.8
M7C9	48	5	2.8	-	2.2
M7C10	44	6	2.9	-	2.5
M7C11	32	6	-	-	-
M7C12	29	6	-	-	-

**Fuente:** Elaboración propia.

**ANALISIS DE RESULTADOS**

En el tratamiento 7 se tomaron 12 muestras durante 5 días del líquido filtrado (Tabla 29), que por titulación se identificaron los productos de la actividad microbiana, etanol, ácido acético y ácido láctico que producen el consorcio bacteriano, en las dos variedades de cacao (Tabla 30 y 31).

**DETERMINACIÓN DEL GRADO DE FERMENTACIÓN**

*Datos Cacao Nacional*

**Tabla 31.** Datos para determinar el índice de fermentación en Cacao Nacional

NÚMERO DE TRATAMIENTO	NÚMERO DE GRANOS QUE FLOTAN EN LA PROBETA (Nf)
5	75
6	78
7	80

**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**Tabla 32. Contaje de los granos de cacao Nacional y selección.**

GRANOS VIOLETAS	GRANOS PIZARROSOS	GRANOS MOHOSOS
20	4	1
15	7	0
14	6	0

**Fuente:** Elaboración propia.

**Resultados Cacao Nacional**

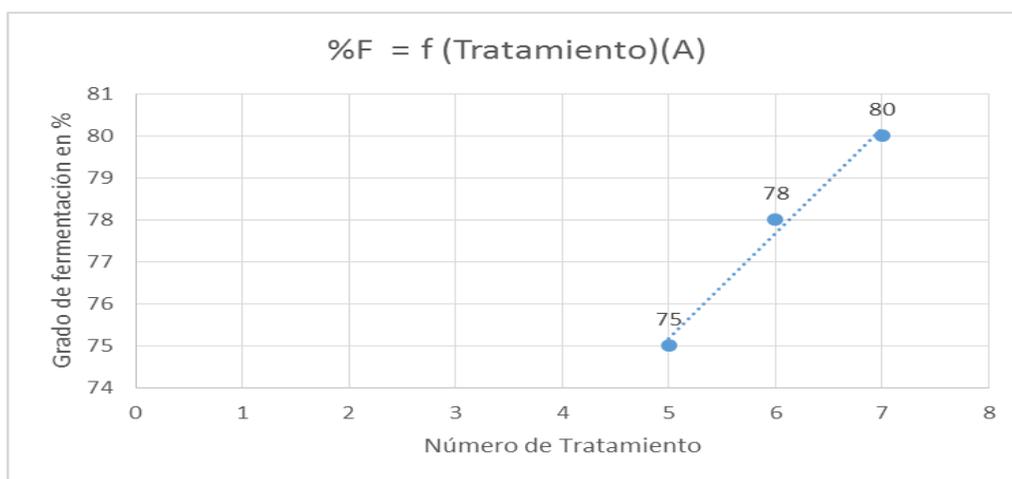
**Tabla 33. Resultados del índice de fermentación y clasificación del Cacao Nacional**

NÚMERO DE TRATAMIENTO	NÚMERO DE GRANOS QUE FLOTAN EN LA PROBETA (Nf)	GRADO DE FERMENTACION EN PORCENTAJE (%F)
5	75	75
6	78	78
7	80	80

GRANOS VIOLETAS	GRANOS PIZARROSOS	GRANOS MOHOSOS	CLASIFICACION CACAO FINO
20	4	1	A.S.S
15	7	0	A.S.S.S
14	6	0	A.S.S.S

**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 35. Gráfica del Grado de fermentación en porcentaje (%) en función de cada tratamiento para cacao Nacional.**



**Fuente:** Elaboración propia.

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

*Datos CCN51*

**Tabla 34. Datos para determinar el índice de fermentación en Cacao CCN51**

NÚMERO DE TRATAMIENTO	NÚMERO DE GRANOS QUE FLOTAN EN LA PROBETA (Nf)
5	60
6	75
7	82

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 35. Contaje de los granos de cacao CCN51 y selección.**

GRANOS VIOLETAS	GRANOS PIZARROSOS	GRANOS MOHOSOS
26	11	3
16	8	1
13	5	0

**Fuente:** Elaboración propia.

*Resultados CCN51*

**Tabla 36. Resultados del índice de fermentación y clasificación del Cacao CCN51**

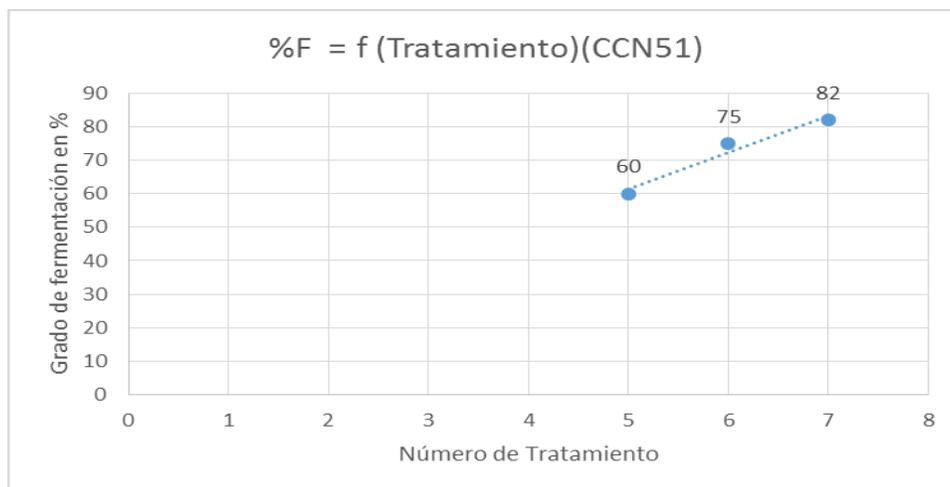
NÚMERO DE TRATAMIENTO	NÚMERO DE GRANOS QUE FLOTAN EN LA PROBETA (Nf)	GRADO DE FERMENTACION EN PORCENTAJE (%F)
5	60	60
6	75	75
7	82	82

GRANOS VIOLETAS	GRANOS PIZARROSOS	GRANOS MOHOSOS	CLASIFICACION CACAO CCN51
26	11	3	<b>C.S.C</b>
16	8	1	<b>C.S.S</b>
13	5	0	<b>C.S.S</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

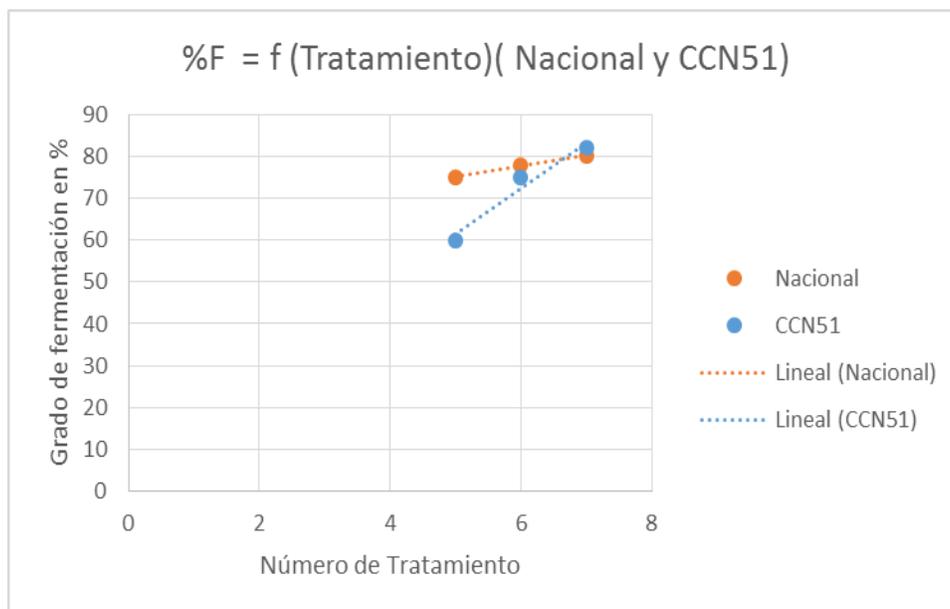
## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

**Figura 36. Gráfica del Grado de fermentación en porcentaje (%) en función de cada tratamiento para cacao CCN51.**



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 37. Gráfica comparativa de los grados de fermentación entre los diferentes tratamientos y variedades de cacao.**



**Fuente:** Elaboración propia.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se cuantifico el índice de fermentación para el cacao Nacional con valores del 75, 78 y 80% para los tratamientos 5, 6 y 7 respectivamente (Tabla 34) (Figura 36), que según la NTE INEN 176 se la

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

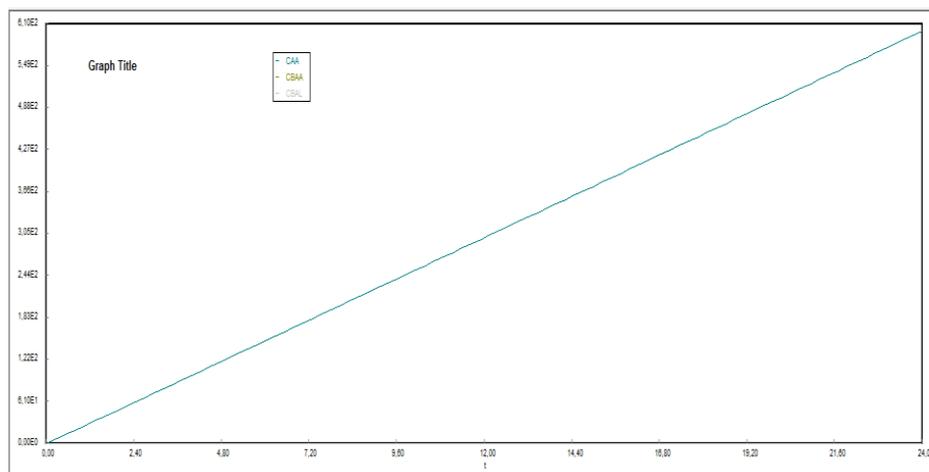
clasifico como: Arriba Superior Selecto (A.S.S.); Arriba Superior Summer Selecto (A.S.S.S) y Arriba Superior Summer Selecto (A.S.S.S), en dichos tratamientos (Tabla 34).

Se cuantificó el índice de fermentación para el cacao CCN51 con valores del 60, 75 y 82% para los tratamientos 5, 6 y 7 respectivamente (Tabla 37) (Figura 37), que según la NTE INEN 176 se la clasifico como: Cacao Superior Corriente (C.S.C); Cacao Superior Selecto (C.S.S) y Cacao Superior Selecto (C.S.S) para dichos tratamiento (Tabla 37).

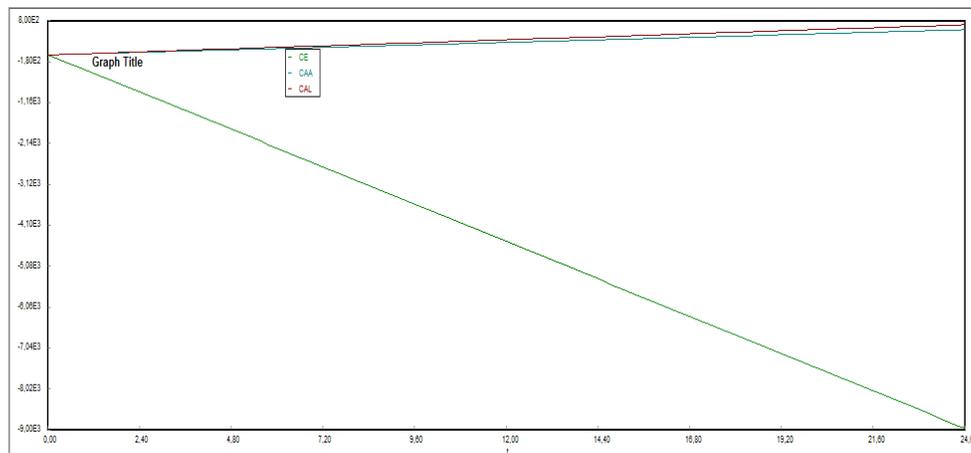
Se compararon los grados de fermentación en porcentaje en función de cada tratamiento 5, 6 y 7 de la variedad Nacional y CCN51 (Figura 38), consiguiéndose mayor índice de fermentación en el cacao Nacional.

### Modelo cinético aplicando simulación con el programa POLYMATH 5.1.

**Figura 38. Concentración de microorganismos en las 24 horas (levaduras, BAL, BAA)**

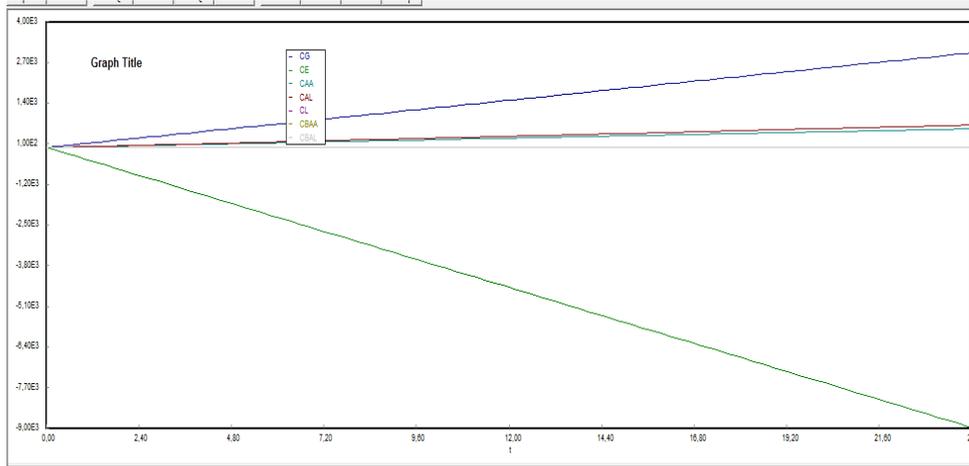


**Figura 39. Concentración de Etanol, Acido acetico y acido láctico en las 48 horas.**

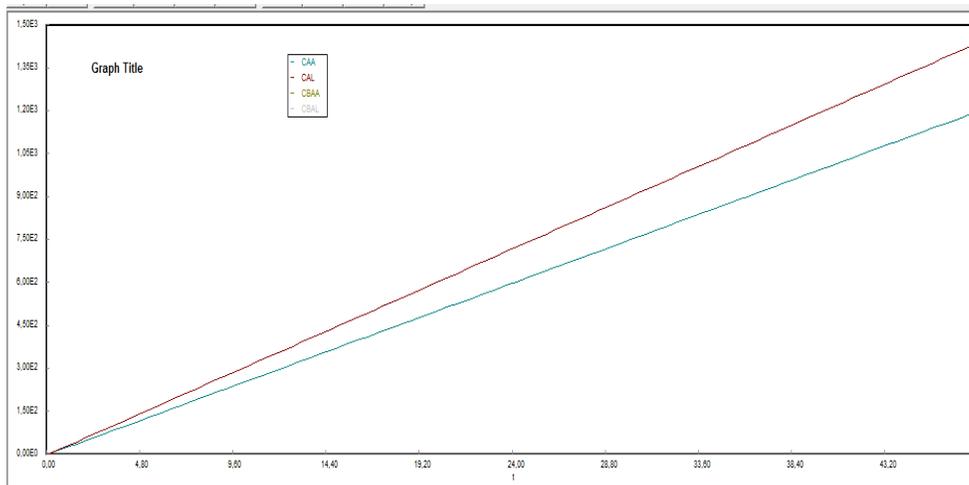


# DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

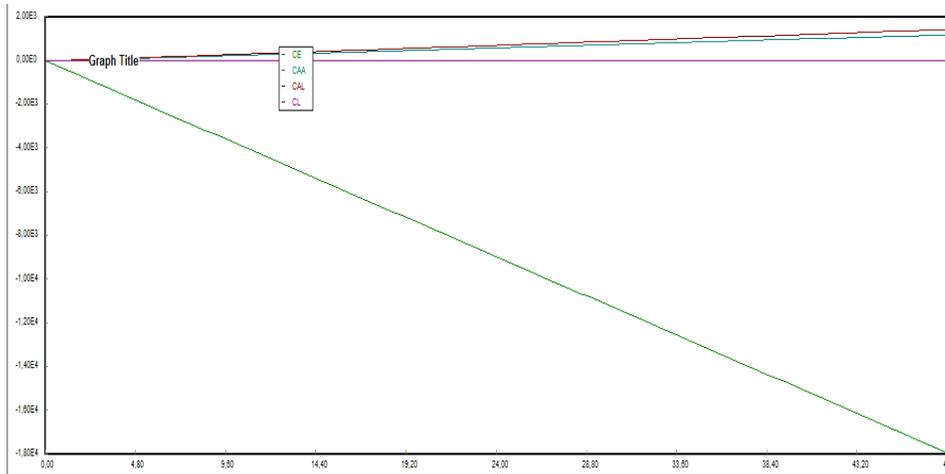
**Figura 40. Concentraciones de microorganismos y productos las primeras 24 horas**



**Figura 41. Concentración de microorganismos en las 48 horas (levaduras, BAL, BAA)**

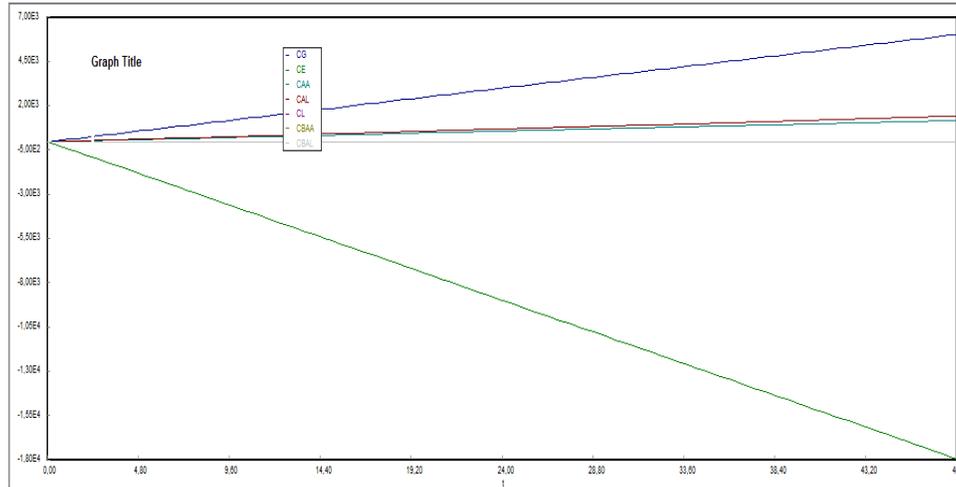


**Figura 42. Concentración de Etanol, Acido acético y acido láctico en las 48 horas**

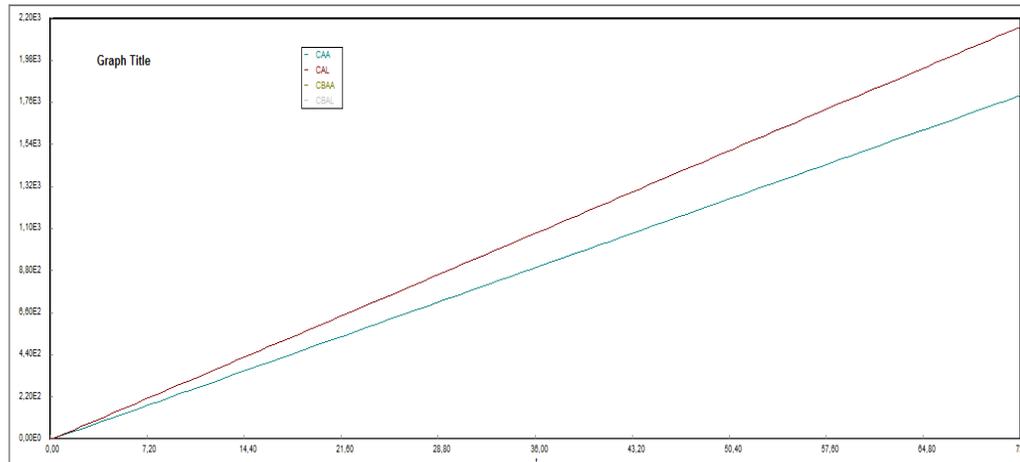


# DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

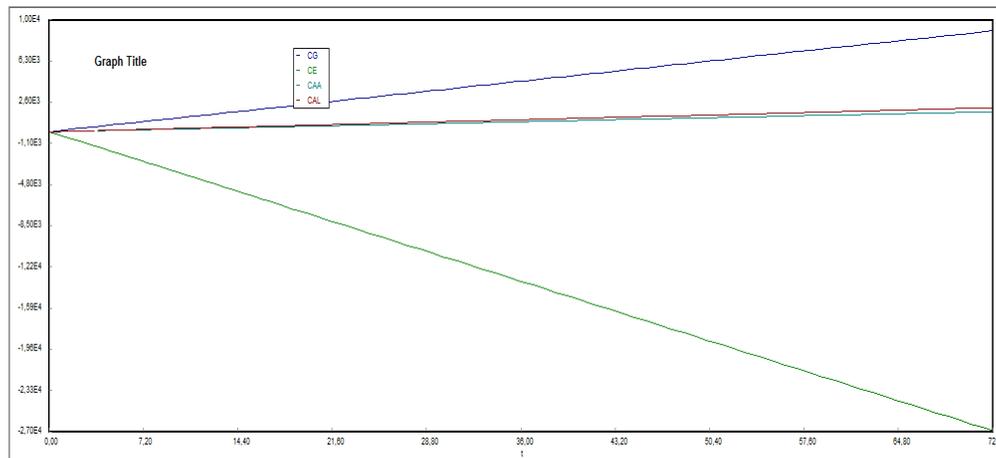
**Figura 43. Concentraciones de microorganismos y productos las primeras 48 horas**



**Figura 44. Concentración de microorganismos en las 72 horas (levaduras, BAL,BAA).**

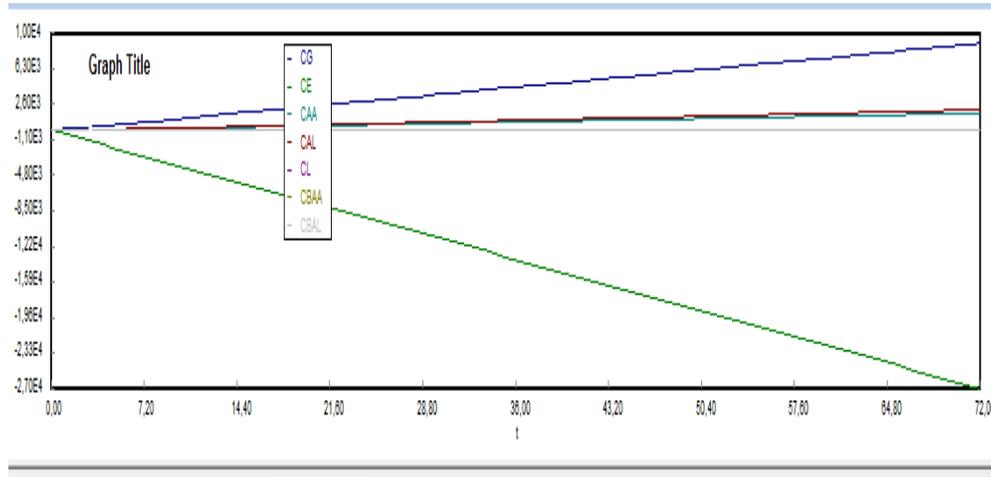


**Figura 45. Concentración de Etanol, ácido acético y ácido láctico en las 72 horas.**

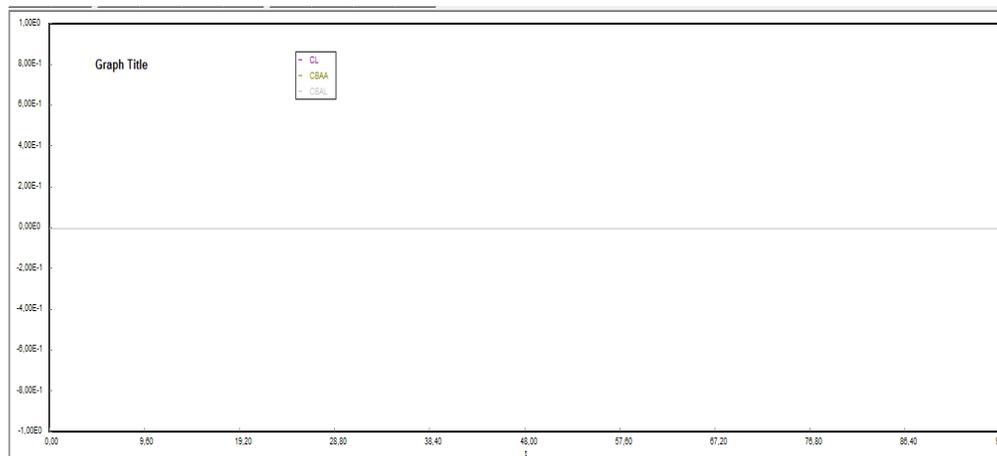


# DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

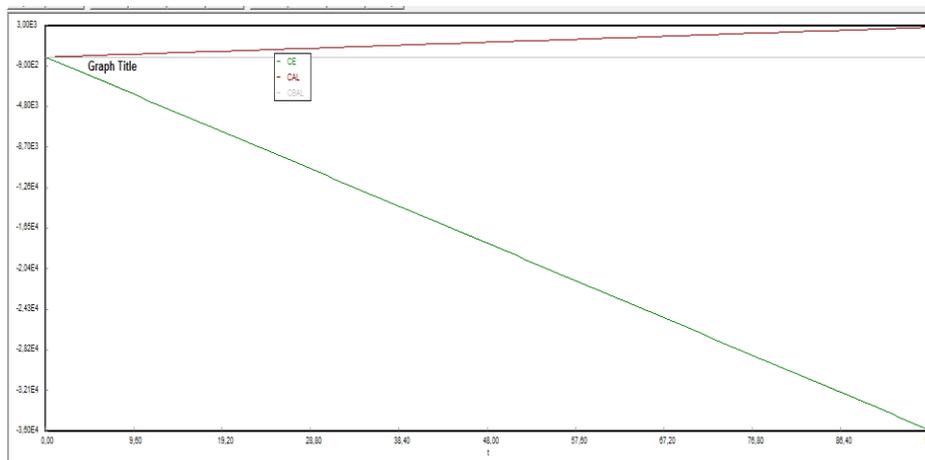
**Figura 46. Concentraciones de microorganismos y productos las primeras 72 horas.**



**Figura 47. Concentración de microorganismos en las 96 horas (levaduras, BAL,BAA).**

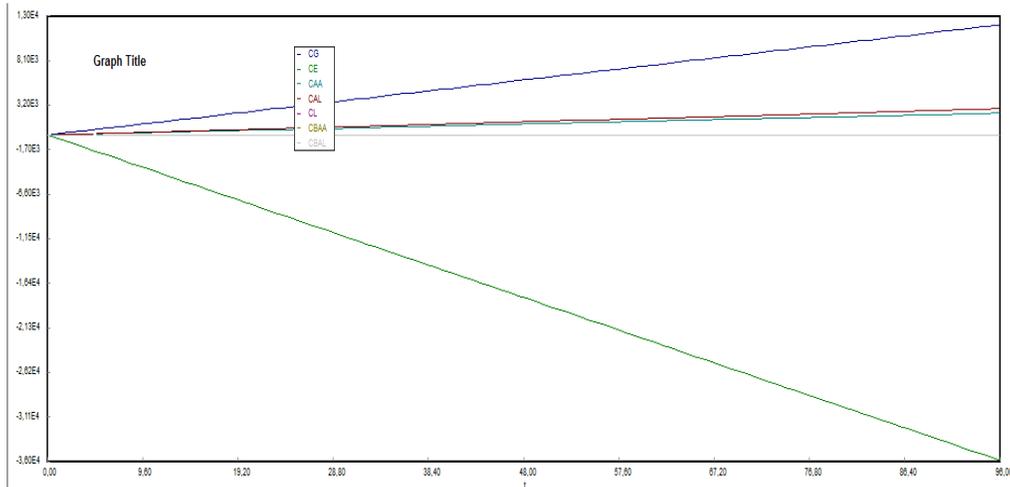


**Figura 48. Concentración de Etanol, Acido acético y ácido láctico en las 96 horas.**

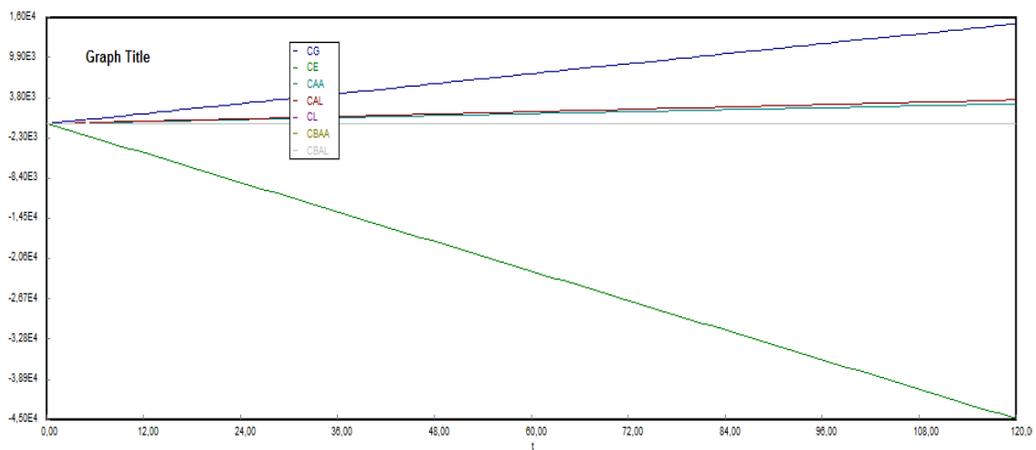


# DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

**Figura 49. Concentraciones de microorganismos y productos las 96 horas.**



**Figura 50. Concentraciones de microorganismos y productos las primeras 120 horas (5 días).**



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se simuló el modelo cinético 1 con el programa POLYMATH 5.1 para los días 1, 2, 3, 4, y 5 de fermentación, en los cuales a las primeras 24 horas se pudo observar el crecimiento de los microorganismos (Figura 39) y la producción de ácido láctico, acético y etanol (Figura 40).

Se puede observar, que si bien hay producción de etanol, también existe consumo del mismo, razón por la cual el gráfico desciende, consistente con los valores monitoreados (Figura 41).

A las 48 y 72 horas se observa que los microorganismos crecen (Figuras 42 y 45) y producen ácido láctico, acético y etanol (Figuras 43 y 46), los mismos que son consumidos, razón por la cual decrecen en el gráfico para producir los cambios necesarios en el proceso de la fermentación (Figuras 44 y 47).

## DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

A las 96 horas se observó que el consorcio de microorganismos entra en su fase estacionaria (Figura 48) y los productos se consumen y se muestran en las gráficas en el declive de las mismas (Figuras 49 y 50).

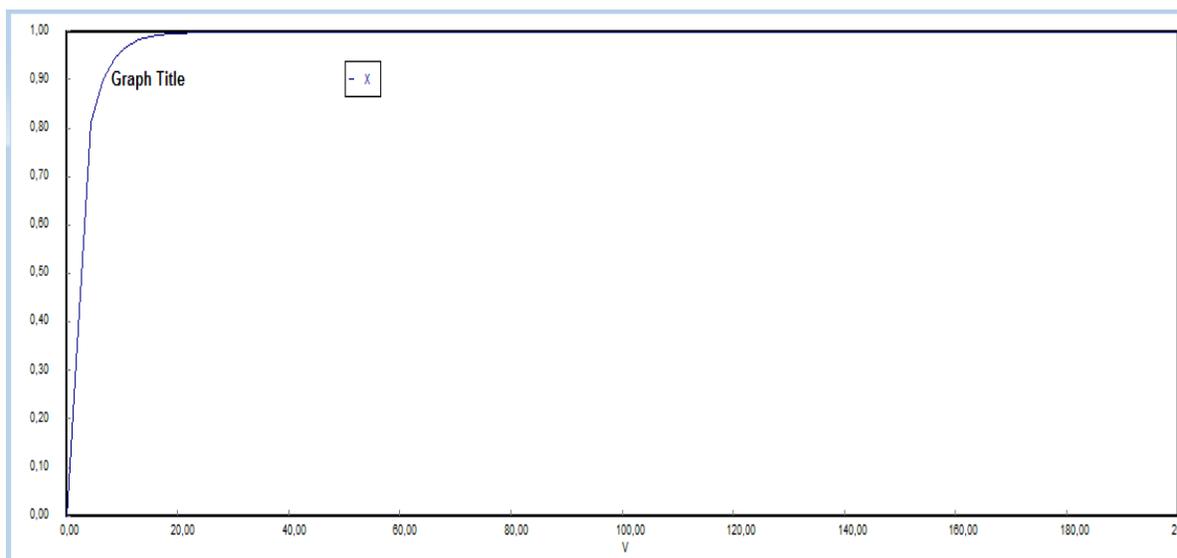
A las 120 horas (5 días) fue factible observar la producción (metabolitos) y consumo (ácido láctico, ácido acético y etanol), (Figura 51); metabolitos que desarrollarán el aroma y sabor fino de chocolate.

Al aplicar el simulador del modelo cinético 1, mostró que el monitoreo de sus variables físico-químicas y microbiológicas realizadas en los diferentes tratamientos para la fermentación de granos de cacao Ecuatoriano, son importantes para el correcta manipulación del mismo.

### CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL FERMENTADOR

Una vez realizada la simulación y la experimentación se introdujo el modelo cinético 1 en el programa POLYMATH 5.1. y con los datos experimentales y el modelo cinético se obtuvo el volumen del fermentador para granos de cacao Nacional y CCN51.

**Figura 51. Gráfica Conversión en función del Volumen**



**El volumen que se recomienda es de 20 L**

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

El volumen del fermentador fue de 20 L para una conversión (75, 78, 80 para cacao Nacional (Tabla 34) y 60, 75 y 82 para cacao CCN51 (Tabla 37)) expresada en el gráfico (Figura 52) conversión en función del volumen, gracias al programa POLYMATH 5.1 y los datos del modelo cinético 1 (Tabla 10) y los datos experimentales para cacao Nacional y CCN51 (Tablas 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37 y 38) se obtuvo el volumen recomendado.

# DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

## CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD (NTE INEN-ISO 2291, 2013).

### Resultados:

**Tabla 37. Porcentaje de humedad para el cacao Nacional**

Factores	T5	T6	T7
Cantidad de granos en 100g	75	78	80
Humedad %	6.7	6.9	7.1

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 38. Porcentaje de humedad para el cacao CCN51**

Factores	T5	T6	T7
Cantidad de granos en 100g	60	75	82
Humedad %	6.1	6.5	6.8

**Fuente:** Elaboración propia.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

El porcentaje de humedad para cacao Nacional y CCN51 están dentro de los requisitos de la NTE INEN 176 del 7% (grano de cacao fermentado y seco) con una desviación de  $\pm 1\%$  (Tabla 38 y 39).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones.

- Se analizó experimentalmente el modelo cinético 1 de Kresnowati et al. (2015) y se seleccionó éste modelo cinético 1 que dio índices de fermentación del 77,6% para el cacao Nacional y 72,33% para cacao CCN51 (Tabla 34 y 37).
- Los indicadores de pH, temperaturas y producción de ácido láctico, ácido acético y etanol ayudaron a monitorear el proceso para lograr los índices de fermentación adecuados con una conversión del 0.7-0.8 de los granos de cacao ecuatorianos.
- Al simular el modelo cinético 1 en el programa POLYMATH 5.1 y compararlo con los resultados experimentales obtenidos se comprobó que es factible utilizar este modelo cinético.
- El volumen de 20L del fermentador recomendado ayudó a monitorear las variables físico-químicas y biológicas para obtener las mejores conversiones (77,6% para cacao Nacional y 72,33% para cacao CCN51).
- El cacao Ecuatoriano no cumple con su cuota de exportación porque su índice de fermentación es del 56%, ya que los productores siguen aplicando técnicas tradicionales de fermentación.

## **DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

### **Recomendaciones.**

- Se recomienda que la fermentación de granos de cacao debe realizarse in situ.
- Aplicar el modelo cinético 2 de Kresnowati et al. Para evaluar si se logra incrementar los índices de fermentación obtenidos.
- Partir de un inóculo cuantitativo del consorcio de microorganismos (levaduras, bacterias del ácido láctico y bacterias del ácido acético) para monitorear adecuadamente el proceso y alcanzar mayores conversiones que se traduzca en índices de fermentación del 100%.
- Que la operación unitaria de secado se realice en camas adecuadas (secador de madera laurel con una luz de malla 5,0 mm (ISO 2451:2017)) y no en carreteras de asfalto, cemento, tierra u otros medios, para que el proceso de fermentación pueda conservarse en la cadena de valor del mismo.
- Que se difunda la metodología de la norma INEN para determinar el grado de fermentación y asegurar así el grado de calidad de los granos de cacao Ecuatorianos.

# DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIETADES DE CACAPO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS

## APÉNDICE EXPERIMENTACIÓN

### *Procedimiento*

*Identificación Cualitativa de Levaduras, bacterias del ácido láctico (BAL) y bacterias del ácido acético (BAA).*

*Ubicación:* Quito

### *Materiales y Procedimiento*

**Difco™ YPD Agar** (se utilizan para mantener y propagar levaduras en procedimientos de microbiología)

### *Preparación*

Disolver 65g del medio en 1L de agua purificada. Mezclar bien. Procesar en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Dejar enfriar 30 minutos.

Vaciar en cajas de Petri estériles. Conservar en refrigeración de 2 a 8°C

**Lactobacilli MRS Agar** (Lactobacilli MRS Agar se recomienda para el aislamiento, enumeración y cultivo de *Lactobacillus* spp.)

### *Preparación*

Disolver 70g del medio en 1L de agua purificada. Mezclar bien. Calentar la mezcla y agitar por 1 minuto hasta formar solución homogénea. Procesar en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Dejar enfriar 30 minutos.

Vaciar en cajas de Petri estériles. Conservar en refrigeración de 2 a 8°C

**Agar Nutritivo** (se utiliza para el cultivo de una variedad de microorganismos en un entorno de laboratorio) (bacterias del ácido acético)

### *Preparación*

Disolver 23g del polvo en 1L de agua purificada. Mezclar bien. Calentar la mezcla y agitar por 1 minuto hasta formar solución homogénea. Procesar en autoclave a 121°C durante 15 minutos.

Dejar enfriar 30 minutos.

Vaciar en cajas de Petri estériles. Conservar en refrigeración de 2 a 8°C

### *Siembra de microorganismos*

Sembrar utilizando una asa, cada muestra y variedad de cacao, identificada y decodificada, en cada medio de cultivo con etiquetas.

## **DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS VARIEDADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

Conservar las muestras en una estufa a 35 ° C y las placas hacia abajo por la respiración de microorganismos.

Identificar el crecimiento de microorganismos a las 24 y 48 horas.

### **DETERMINACIÓN DEL GRADO DE FERMENTACIÓN**

#### **Prueba de Agua (NTE INEN-ISO 1114, 2013)**

##### ***Materiales y equipos***

Probeta de 1000 ml

1000 ml de agua

##### ***Procedimiento***

Se necesita 100 granos de muestra y se los vierte en una probeta llena de agua, se cuantifica el número de granos que flotan

##### ***Calculo***

$$\%F = \frac{(Nf) \times 100}{100 \text{ granos}}$$

##### ***Donde:***

%F: Grado de fermentación en porcentaje.

Nf: Número de Granos que flotan en probeta.

#### **Prueba de Corte (NTE INEN-ISO 1114, 2013)**

##### ***Materiales y equipo***

Cápsulas de vidrio

Balanza digital

Cuchilla o navaja

Lámpara

##### ***Procedimiento***

Hacer un corte longitudinal por la parte central de cada uno de los 100 granos, a fin de exponer la máxima superficie de corte de los cotiledones. Examinar visualmente las dos mitades de cada grano a la luz diurna o bajo una iluminación artificial (lámpara). Contar separadamente los granos defectuosos y clasificar (NTE INEN 176).

##### ***Cálculo:***

$$\%v = \frac{(\# \text{ granos violetas}) \times 100}{100 \text{ granos de la muestra}}$$

$$\%p = \frac{(\# \text{ granos pizarrosos}) \times 100}{100 \text{ granos de la muestra}}$$

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

$$\%m = \frac{(\#granos\ mohosos) \times 100}{100\ granos\ de\ la\ muestra}$$

**Donde:**

%v: porcentaje de granos violetas

%p: porcentaje de granos pizarrosos.

%m: porcentaje de granos mohosos.

**CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD (NTE INEN-ISO 2291, 2013).**

$$\%H = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_0}$$

Donde:

%H : porcentaje de humedad de los granos de cacao

m<sub>0</sub> : tara, peso de cápsula vacía y tapa (g)

m<sub>1</sub> : peso de cápsula con muestra húmeda tapada (g)

m<sub>2</sub> : peso de cápsula con muestra seca tapada (g)

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAO (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

**BIBLIOGRAFÍA**

- Barringer, S. (s. f.). The Chemistry of Chocolate Fla Flavor o.
- Branch, A., Byrne, P., Costa, A., Entzminger, C., Fredericq, A., Gilmour, M., ... Ruiz, S. (2015). Cacao en Grano: Requisitos de Calidad de la Industria del Chocolate y del Cacao. 2015, 110. Recuperado a partir de [http://www.cocoquality.eu/data/Cacao en Grano Requisitos de Calidad de la Industria Apr 2016\\_es.pdf](http://www.cocoquality.eu/data/Cacao%20en%20Grano%20Requisitos%20de%20Calidad%20de%20la%20Industria%20Apr%202016_es.pdf)
- Burdeganos, M. Y., & Especies, D. E. L. A. S. (s. f.). Nomenclatura Sistema Armonizado 00----.
- Camu, N., Winter, T. De, Addo, S. K., Takrama, J. S., Bernaert, H., & Vuyst, L. De. (2008). Fermentation of cocoa beans : influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavour of chocolate, 2297(June), 2288-2297. <https://doi.org/10.1002/jsfa>
- CBI Ministry of foreign Affairs Europe. (s. f.). Exportando cacao a Europa | CBI - Centro para la Promoción de Importaciones de países en desarrollo. Recuperado 2 de noviembre de 2018, a partir de [https://translate.googleusercontent.com/translate\\_c?depth=1&hl=es&prev=search&rurl=translate.google.com.ec&sl=en&sp=nmt4&u=https://www.cbi.eu/market-information/cacao/&xid=17259,15700002,15700022,15700124,15700149,15700186,15700191,15700201,15700214,15700](https://translate.googleusercontent.com/translate_c?depth=1&hl=es&prev=search&rurl=translate.google.com.ec&sl=en&sp=nmt4&u=https://www.cbi.eu/market-information/cacao/&xid=17259,15700002,15700022,15700124,15700149,15700186,15700191,15700201,15700214,15700)
- Cempaka, L., Aliwarga, L., & Purwo, S. (2014). Dynamics of Cocoa Bean Pulp Degradation during Cocoa Bean Fermentation: Effects of Yeast Starter Culture Addition, 46(1), 14-25. <https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2014.46.1.2>
- Conservacion & Desarrollo. (2018). Atlas Del Cacao de Ecuador 2018 mas de 60 000 Productores. Recuperado 26 de diciembre de 2018, a partir de <https://es.scribd.com/document/377533425/Atlas-Del-Cacao-de-Ecuador-2018-mas-de-60-000-Productores>
- Darío, R., Fernández, R., Wilberto, F., Gallo, M., Monserrate, Á., Cedeño, G., ... Morante, N. (s. f.). Efecto del tipo y tiempo de fermentación en la calidad física y química del cacao (, 7-12.
- Fabián, W., & Llerena, T. (2016). Mejoramiento del proceso de Fermentación del Cacao, 138. <https://doi.org/978-84-7993-319-7>
- FAO. (s. f.). Operaciones Poscosecha -.
- Febriami, H. (2015). MAPPING THE EFFECTS OF STARTER CULTURE ADDITION ON COCOA BEAN FERMENTATION, 5(1), 25-37.
- INEN. NTE INEN 176 GRANOS DE CACAO. REQUISITOS COCOA BEANS. REQUIREMENTS (2018). Recuperado a partir de [http://181.112.149.204/buzon/normas/nte\\_inen\\_176-5.pdf](http://181.112.149.204/buzon/normas/nte_inen_176-5.pdf)
- Internacional, I. (2012). Norma Técnica Colombiana 1252, (571).
- Kresnowati, M. T. A. P., Gunawan, A. Y., & Muliadini, W. (2015). Kinetics Model Development of Cocoa Bean Fermentation, 030004. <https://doi.org/10.1063/1.4938289>
- Kresnowati, M. T. A. P., Suryani, L., & Affifah, M. (2013). Improvement of Cocoa Beans

**DISEÑO DE UN FERMENTADOR Y SECADOR SOLAR PILOTO, PARA DOS  
VARIETADES DE CACAOS (*Theobroma cacao* L), EN EL CANTÓN EL  
EMPALME PROVINCIA GUAYAS**

Fermentation by LAB Starter Addition, 2(4), 274-278. <https://doi.org/10.12720/jomb.2.4.274-278>

- Liendo, R. J. (2015). Efecto del volteo sobre los perfiles sensoriales del cacao fermentado Effect of the turning on the sensory profiles of the fermented cocoa Introducción, 41-62.
- Liendo, R. J., & Aragua, E. (s. f.). Prácticas poscosecha y de almacenamiento del cacao (*Theobroma cacao*) en el estado miranda Venezuela Post-harvest and storage practices of cacao (*Theobroma cacao*) in Miranda state, Venezuela.
- Marcelo, I., Seijas, G., & Lt, L. E. M. L.-. (s. f.). Prácticas de Control de Calidad de Cacao en Centro de Acopio.
- México, I. (s. f.). IMCO. Recuperado a partir de <http://www.imco.mx/productos/cacao/>
- Pereira, J. K. H. (2015). “*Obtención a escala laboratorio de polifenoles a partir de la cáscara de cacao y su utilidad como aditivo conservante de aceites vegetales comestibles*”. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad. Recuperado a partir de <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/38266>
- Portillo, E., Farinas, L. G. De, & Betancourt, E. (s. f.). Efecto de los Tratamientos post-cosecha sobre la Temperatura y el Índice de Fermentación en la calidad del cacao criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el Sur del Lago de Maracaibo Effect of the Treatments Post harvest on the Temperature and the Index of Fermentation in the Quality of the Cocoa Criollo Porcelana (*Theobroma cacao* L.) in the South of the Maracaibo Lake.
- Portillo, E., Fuenmayor, D., & Diaz, B. R. R. (2011). Efecto de la fermentación sobre el contenido de purinas en cacao Criollo e Híbrido (*Theobroma cacao* L.) del Sur del Lago de Maracaibo Effect of the fermentation on the content of purines in Creole and hybrid cocoa (*Theobroma cacao* L.) in the south of Maracaibo 's lake Resumen Introducción, 228-237.
- Rafael Correa Delgado, Richard Espinosa Guzmán, Dr. Esteban Albornoz Vintimilla Ministro, S. M. P. D. (2014). Atlas Bioenergético del Ecuador, 1, 150.
- Ríos, F. (2018). La situación actual de los cacaos finos y la industria chocolatera en (p. 26).
- Scott Fogler, H. (2008). *Elementos de ingeniería de las reacciones químicas*.
- Steinau, I. A. D. (2017). *Evaluación de la incidencia de la fermentación en la calidad del grano de cacao trinitario en caluco, sonsonate, el salvador*.
- Stevenson, C., Corven, J., Villanueva, G., Es, Q. U. E., & Iica, E. L. (s. f.). Manual para a n a l i s i s de cacao en laboratorio.
- Vinícius, G., Pereira, D. M., Gabriela, M., Miguel, P., Ramos, C. L., & Schwan, R. F. (2012). Cocoa Fermentations and Screening of Yeast and Bacterial Strains To Develop a Defined Starter Culture, 78(15), 5395-5405. <https://doi.org/10.1128/AEM.01144-12>