



## ARTÍCULO CORTO

## Influencia del tiempo de fermentación sobre las características sensoriales del cacao cultivado en Soconusco, Chiapas, México

Francisco Escobar-Cruz, Alfredo Vázquez-Ovando\*

Instituto de Biociencias, Universidad Autónoma de Chiapas. Tapachula, Chiapas, México.

### Resumen

La fermentación es una etapa crucial en el procesamiento de las almendras de cacao (*Theobroma cacao* L.), pues durante ésta, se producen moléculas que otorgan características sensoriales agradables a los granos y a su vez se reducen otras moléculas que son menos deseables. Previamente se han reportado descriptores sensoriales para cacaos cultivados en la región Soconusco del estado de Chiapas México; sin embargo, esos cacaos fueron fermentados durante seis días, sin considerar la variedad. Con el objetivo de monitorear las condiciones de fermentación y establecer los tiempos apropiados para las almendras de las variedades Criollo, Trinitario y Forastero cultivados en esta región, se determinaron durante la fermentación controlada los contenidos de sólidos solubles totales (SST), azúcares reductores (AR), acidez titulable (AT) y pH. Con la intervención de un grupo de panelistas entrenados se establecieron primeramente los descriptores de olor durante nueve días de fermentación y posteriormente en los tiempos más apropiados en función de la variedad; después de fermentar, secar y tostar las almendras. Con los resultados de las características físicoquímicas y sensoriales, se pudo establecer que para la variedad Criollo se requieren 3 días de fermentación mientras que, para las variedades Forastero y Trinitario, 5 días de fermentación es apropiado. Este estudio demuestra que las notas *off-odor* y a mohó reportados en otro estudio no son propias de los cacaos y se atribuyen a la sobrefermentación.

### Palabras clave:

Chocolate  
Criollo  
Forastero  
Sobrefermentación  
Trinitario

### Keywords:

Chocolate  
Criollo  
Forastero  
Overfermentation  
Trinitario

## Influence of fermentation time on the sensory characteristics of cocoa grown in Soconusco, Chiapas, Mexico

### Abstract

Fermentation is a crucial stage in the processing of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.), since during this, molecules are produced that give pleasant sensory characteristics to the beans and at the same time other molecules that are less desirable are reduced. Sensory descriptors have previously been reported for cocoas grown in the Soconusco region of the state of Chiapas, Mexico. However, those cocoas were fermented for six days, without considering the variety. With the objective of monitoring the fermentation conditions and establishing the appropriate times for the almonds of the Criollo, Trinitario, and Forastero varieties grown in this region, the contents of total soluble solids (TSS), reducing sugars (RS) were determined during controlled fermentation, titratable acidity (TA) and pH. By mean a group of trained panelists, the odor descriptors were first established during nine days of fermentation (overfermentation) and subsequently at the most appropriate times according to the variety; after fermenting, drying and roasting the almonds. With the results of the physicochemical and sensory characteristics, it was established that for the Criollo variety 3 days of fermentation are required while for the Forastero and Trinitario varieties, 5 days of fermentation is appropriate. This study demonstrates that the off-odor and musty notes reported in another study are not typical of cocoas and are attributed to overfermentation.

### \* Autor para correspondencia:

Instituto de Biociencias,  
Universidad Autónoma de  
Chiapas.  
Boulevard Príncipe Akishino  
sin número, Colonia  
Solidaridad 2000, C.P.  
30798.  
Tapachula, Chiapas, México.  
Teléfono: + 52 9626427972.  
Correo-electrónico:  
jose.vazquez@unach.mx

## 1. Introducción

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es una de las 22 especies del género *Theobroma* y es la de mayor importancia comercial y cultural. Esta planta alógama fue domesticada en Mesoamérica, donde existe vasta evidencia irrefutable de su uso en la alimentación desde hace más de 4000 años (Cornejo et al., 2018). En la región Soconusco, al sur del estado de Chiapas, México, actualmente existen plantaciones de cacao de las cuales se obtienen granos de cacao que poseen características sensoriales (sabor, aroma, textura) de interés en el mercado nacional e incluso internacional (Vázquez-Ovando et al., 2015b). Estas características sensoriales que tienen impacto directo en la calidad del chocolate que se elabora de las semillas, se deben entre otros a, factores genéticos, ambientales y de procesamiento (Jaimez et al., 2022).

El genotipo es el factor de mayor influencia en la calidad e intensidad del sabor a chocolate. Se ha demostrado que la variedad de cacao determina en gran medida el tipo y la cantidad de precursores así como la actividad enzimática que contribuyen a la formación del sabor (Santander-Muñoz et al., 2020). Además del genotipo, la calidad del cacao depende del procesamiento postcosecha al cual los granos son sometidos. Procesos como la fermentación, secado y tostado son de fundamental importancia para la obtención de un chocolate de calidad (Akoa et al., 2023).

La fermentación es, sin duda, un procedimiento indispensable para el desarrollo apropiado de los precursores del aroma de chocolate ya que, durante esta etapa, la pulpa que envuelve las semillas es metabolizada por microorganismos que producen compuestos como etanol, ácido acético y ácido láctico formados en primera instancia, los cuales posteriormente son absorbidos por los cotiledones, promoviendo varios cambios fisicoquímicos, que tendrán notable influencia en el sabor final (Streule et al., 2022). Se ha reportado que cada genotipo requiere de tiempos de fermentación diferentes para expresar mejor la calidad del sabor y aroma. De lo anterior, se sabe que los frutos de la variedad Forastero requieren un período de fermentación de cinco a ocho días para el desarrollo de sabor, mientras que el cacao Criollo requiere de dos a tres días (Motamayor et al., 2013).

Vázquez-Ovando et al. (2015a) realizaron la caracterización sensorial de las semillas de cacao obtenidas de plantas sembradas en la región Soconusco, Chiapas, México. Los autores reportan la presencia de notas particulares de olor (especias, nueces, avellanas), pero además se reporta la presencia de aromas no deseables (*off-odor*, mohoso). Sin embargo, en aquel estudio se empleó el mismo tiempo de fermentación (6 días) sin distinguir el origen varietal de las semillas. Se ha reportado además que la composición genética de los cacaos de esta región del mundo está diferenciada (Vázquez-Ovando et al., 2014), por lo que los resultados del citado trabajo no dan evidencia concluyente acerca de si los aromas reportados son respuesta del genotipo (variedad) o solamente son el resultado de la fermentación no

diferenciada. Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue establecer los tiempos de fermentación apropiados, así como los perfiles sensoriales de las variedades Trinitario, Forastero y Criollo de *Theobroma cacao* L. cultivados en el sur de México.

## 2. Materiales y Métodos

### 2.1. Frutos de cacao

Se muestrearon a partir de parcelas productoras, frutos de cacao de las variedades Criollo, Forastero y Trinitario. Se consideraron las características morfológicas visuales de los frutos descritas por Engels (Vázquez-Ovando et al., 2014), así como la calidad sensorial declarada por los productores para diferenciar las variedades. Las parcelas de donde se obtuvieron los frutos se localizan en los municipios de Tapachula, Cacahoatán y Frontera Hidalgo del estado de Chiapas, al sureste de México.

### 2.2. Procesamiento del fruto

Después de cosechadas, las mazorcas de cacao se trasladaron inmediatamente al laboratorio y se lavaron con agua potable y etanol al 70%. Después de ser secadas, cada mazorca se diseccionó por la mitad con ayuda de una navaja estéril, se extrajeron las semillas y se separaron de la placenta para posteriormente introducir las semillas con pulpa en bolsas de polipropileno con cierre hermético para su uso inmediato (Vázquez-Ovando et al., 2015b).

### 2.3. Establecimiento del tiempo de fermentación de las semillas

Esta etapa tuvo como propósito establecer los tiempos óptimos para la fermentación espontánea de cada variedad de semillas de cacao. Para esto, se prepararon bolsas con cierre hermético conteniendo 45-60 g de semillas de una de las tres variedades, las cuales se colocaron en una estufa a 35 °C y se dejaron fermentar espontáneamente hasta la sobrefermentación (Seguine et al., 2014). Por cada uno de los tres tratamientos (variedad de cacao) se establecieron 10 bolsas (repeticiones), mismas que fueron codificadas y, a partir del día del establecimiento (día 0), de manera completamente aleatorizada cada 24 h se muestreó una bolsa por tratamiento para realizar las mediciones durante 9 días.

### 2.4. Monitoreo de la fermentación

Por triplicado se midieron el pH, contenido de azúcares reductores (AR), la acidez titulable (AT) y el contenido de sólidos solubles totales (SST) del mucílago de la masa de fermentación. El pH se determinó siguiendo el método potenciométrico 970.21 de la AOAC (2010). Se colocó 1 g de mucílago en un tubo de centrifuga y se centrifugó a 7000 g por 5 min. Se tomó el sobrenadante y se registró el pH con ayuda de potenciómetro Hanna modelo HI98130. Para el contenido de AR, 1 g de mucílago fue suspendido en 50 mL de agua destilada, posteriormente 1 mL de la suspensión fue centrifugado a 7000 g por 5 min. Del sobrenadante se tomaron 100 µL para determinar el contenido de AR por la

técnica del DNS (Miller, 1959). La AT se determinó siguiendo el método 942.15 de la AOAC (2010) y el contenido se expresó como ácido acético usando el factor 0.06. Para esto, 1 g del mucílago fue diluido a 25 mL con agua destilada y titulado con NaOH 0.1 M hasta el cambio de coloración usando 0.3 mL de fenolftaleína como indicador. El contenido de SST se determinó colocando unas gotas del mucílago sobre el prisma de un refractómetro digital PAL-1 Atago 3810.

De manera paralela se realizaron pruebas olfativas a las masas de fermentación recurriendo a 5 panelistas entrenados. El entrenamiento de los panelistas estuvo basado en el método de análisis descriptivo cuantitativo (QDA) mediante pruebas de asociación y pruebas triangulares (Vázquez-Ovando et al., 2015a). Previo a la evaluación sensorial, los panelistas se reunieron durante 6 sesiones de una hora para familiarizarse con la materia a evaluar y generar los descriptores de cacao. Durante la evaluación sensorial, los panelistas abrieron las bolsas conteniendo las masas de fermentación, percibieron los aromas y anotaron por consenso los descriptores presentes en cada una de las muestras. Se consideró que un descriptor estaba presente si 4 de los 5 panelistas lo percibió.

Considerando las variables fisicoquímicas y los aromas presentes en las muestras de cacao se estableció el tiempo cuando la fermentación estaba completada.

### 2.5. Fermentación diferenciada

La segunda etapa de fermentación consistió en fermentar un mayor volumen de semillas de cacao (300 g) deteniendo la fermentación en el tiempo apropiado para cada variedad, de acuerdo con los resultados de la primera etapa del experimento. Para esto, se obtuvieron nuevamente frutos del mismo sitio de recolección, se extrajeron las semillas de los frutos y se colocaron por cada variedad 300 g de semillas en 3 bolsas de polipropileno con cierre hermético (100 g por cada bolsa) para ser fermentadas bajo las mismas condiciones de la primera etapa (sección 2.3).

Una vez completado el tiempo de fermentación para cada variedad, las semillas fueron extraídas de las bolsas y se colocaron directamente al sol, de acuerdo con el método tradicional de secado, volteando los granos una vez al día para garantizar un secado homogéneo. Las semillas se secaron durante 3 días. Posteriormente se guardaron en bolsa de polipropileno con cierre hermético hasta su posterior tostado. El tostado de las semillas se realizó a 140 °C durante 15 min en recipiente de aluminio moviendo constantemente los granos de acuerdo con lo sugerido por Vázquez-Ovando et al. (2015a), posteriormente fueron descascarilladas y colocadas en recipientes de polipropileno.

Las semillas recién tostadas fueron analizadas sensorialmente por el panel de jueces entrenados mediante una prueba de detección de aromas. Se exploró la presencia de los descriptores generados para estos cacaos en el estudio de Vázquez-Ovando et al. (2015a), así como aquellos derivados de la primera etapa del presente estudio (Cuadro 1).

### 2.6. Análisis de datos

Todas las determinaciones analíticas se realizaron por triplicado, los datos obtenidos se sometieron a análisis de varianza y posterior comparación de medias por el método de Duncan ( $P < 0.05$ ) usando el software Statgraphics v. Centurion.

## 3. Resultados y Discusión

En la Figura 1 se muestran los resultados del comportamiento del pH del mucílago durante nueve días de fermentación de las tres variedades de cacao analizadas. Al inicio de la fermentación, el pH de las variedades Forastero y Trinitario fue de 2.67 y 2.97, respectivamente y al finalizar aumentó a 3.31 y 3.35 mientras que la variedad Criollo tuvo un pH inicial superior (3.81) al de las otras dos variedades y éste disminuyó ligeramente a 3.66 al finalizar la fermentación.

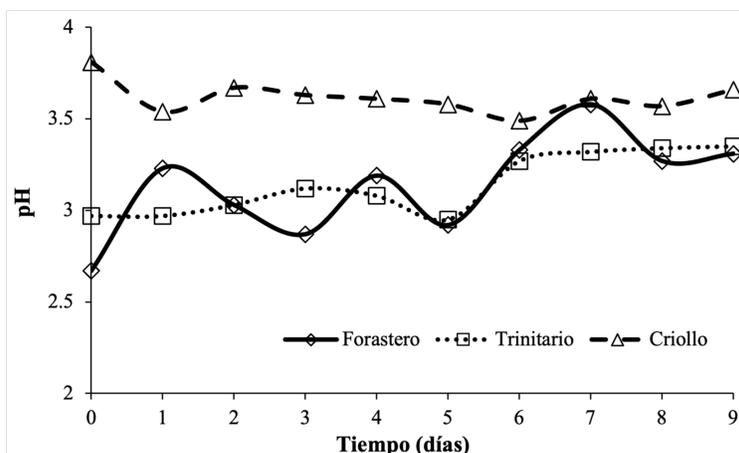


Figura 1. Comportamiento del pH de la pulpa de tres variedades de cacao durante la fermentación espontánea.

Los valores iniciales de las pulpas de fermentación de los cacao aquí analizados son inferiores a cacao de otras regiones del mundo, donde se reportan valores iniciales de alrededor de 4 para híbridos de cacao de Ghana (Afoakwa et al., 2013). Se ha reportado que el pH inicial de la pulpa + testa es importante durante la fermentación, porque favorece inicialmente el desarrollo de las levaduras (pH 3.5-4.0), y posteriormente la sucesión y el desarrollo de las bacterias lácticas y acéticas al aumentar de 4.0 a 4.5 (Rodríguez-Campos et al., 2011). Del mismo modo, se ha establecido que los granos de cacao con pH elevado (5.5-5.8) se consideran fermentados incompletamente y los de menor pH (4.75-5.19), se consideran bien fermentados (Afoakwa et al., 2008). La AT de la pulpa expresada como contenido (%) de ácido acético de las tres variedades de cacao se muestra en la Figura 2. Como ya antes se ha reportado (Velásquez-Reyes et al., 2013), el contenido inicial de AT de la pulpa de la variedad Criollo es menor que el de las otras dos variedades. Para las variedades Forastero y Trinitario, el contenido se incrementó

sustancialmente a medida que avanzó la fermentación, para la variedad Forastero, la AT inició en 0.451% y finalizó en 0.902%, mientras que, para la variedad Trinitario, pasó de 0.508% a 0.846%, al final de la fermentación. Sin embargo, para la variedad Criollo, la AT presentó un comportamiento contrario al de las otras dos variedades, ya que, al inicio de la fermentación, la AT fue de 0.283% y al finalizar la fermentación la acidez descendió a 0.17%. Este comportamiento se puede atribuir a que posiblemente los ácidos orgánicos generados durante la fermentación fueron absorbidos rápidamente por los cotiledones, disminuyendo la concentración de estos en la pulpa o, posiblemente la generación de estos ácidos fue escasa y por ello, tampoco el pH descendió (Figura 1) como sí ocurrió con las otras dos variedades. Estos resultados son ligeramente más bajos en comparación a otros estudios donde se reportan valores de 1 y 2 % en promedio (De Souza et al., 2018), lo cual puede deberse a las condiciones edafoclimáticas de la región.

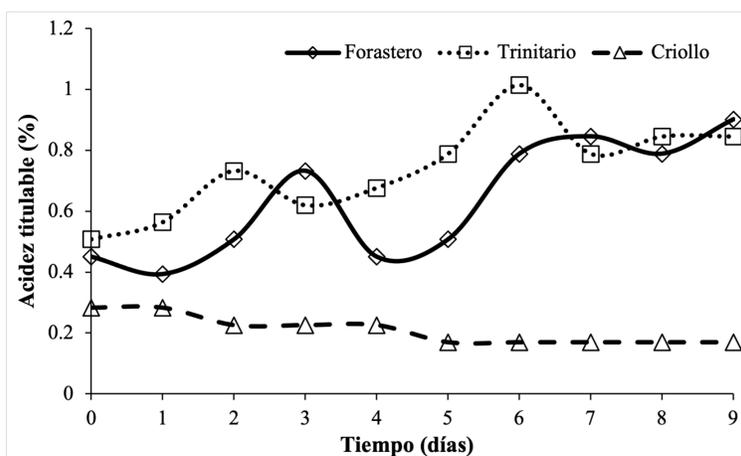


Figura 2. Comportamiento de la acidez titulable de la pulpa de tres variedades de cacao durante la fermentación espontánea.

Los valores iniciales fueron de SST fueron de 14.1, 13.2 y 14.1 °Brix para la variedad Forastero, Trinitario y Criollo, respectivamente (Figura 3). A pesar de la similitud en el

contenido de SST, durante los primeros tres días de fermentación se puede observar mayor disminución para la variedad Criollo.

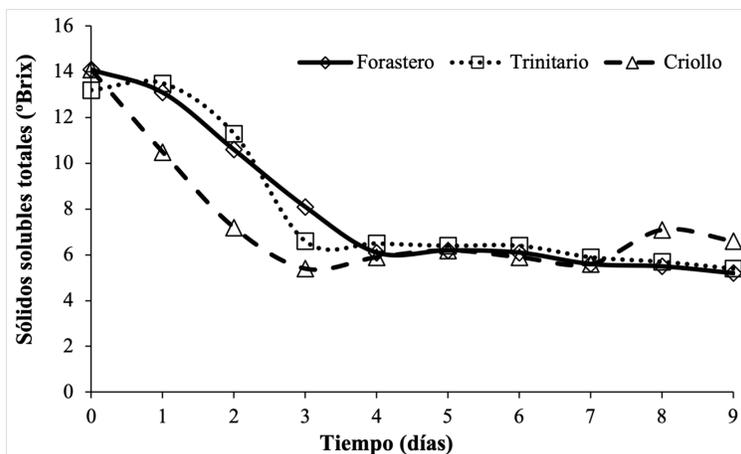


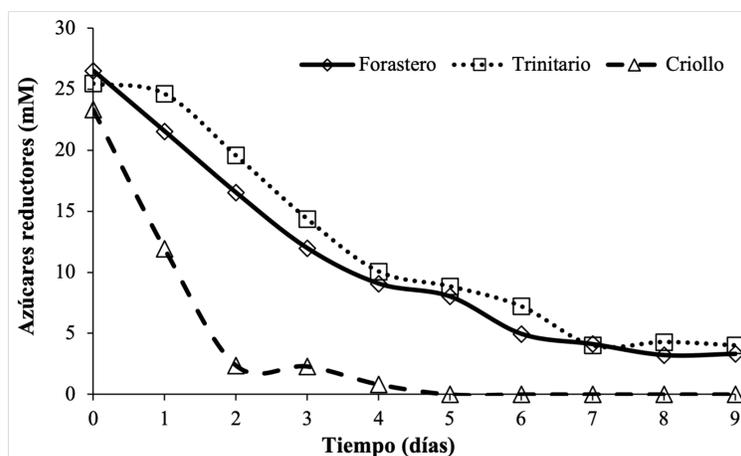
Figura 3. Contenido de sólidos solubles totales de la pulpa de tres variedades de cacao durante la fermentación espontánea.

Este comportamiento puede estar relacionado con la actividad metabólica de los microorganismos presentes en el proceso y posiblemente, con la naturaleza de los azúcares disponibles en la pulpa, debido a que las levaduras metabolizan de manera diferente los distintos azúcares para producir etanol y agua en el proceso. Como consecuencia de este proceso, la pulpa comienza a degradarse y algunos SST son absorbidos por los cotiledones (Streule et al., 2022). Es sabido que la composición química de las semillas de las distintas variedades es también diferente (Pérez et al., 2021), lo que puede repercutir en la estructura de los cotiledones y modificar la absorción de los SST de manera diferenciada, afectando de manera indirecta el contenido de SST en la pulpa. El comportamiento del contenido de los SST para las variedades Forastero y Trinitario fue similar durante los 9 días.

En la Figura 4 se observa la disminución del contenido de AR, siendo más pronunciado en la variedad Criollo, en la cual existe un notable descenso en los primeros dos días de fermentación en congruencia con lo observado en el contenido de SST (Figura 3). Portillo et al. (2007) sugieren

que este descenso es atribuido a la emisión de exudado y a la fermentación alcohólica. Los microorganismos con mayor abundancia en la primera etapa de la fermentación son las levaduras, las cuales metabolizan los azúcares presentes en el medio, produciendo alcohol el cual es principalmente absorbido por los cotiledones. Este comportamiento es totalmente atribuible al genotipo, y coincide parcialmente con los reportes previos donde se establece que los tiempos de fermentación son de 2 a 3 días para Criollo, de 5 a 7 días para Forastero y de 6 a 8 días para Trinitario (Castro-Alayo et al., 2019).

Este resultado y los valores encontrados para la acidez y pH estarían comprobando la fuerte actividad de las levaduras, así como una menor aportación de las bacterias implicadas en la biosíntesis de ácidos orgánicos (principalmente las del grupo del ácido acético y en menor medida del ácido láctico). Este comportamiento ya antes ha sido reportado (De Vuyst y Leroy, 2020; Zhao y Fleet, 2014). Los valores de AT también dan indicio de este comportamiento y, aunque los panelistas sensoriales pudieron detectar olores a ácido acético (Cuadro 1), ellos no determinaron la magnitud del olor.



**Figura 4.** Comportamiento de los azúcares reductores en la pulpa durante la fermentación espontánea de tres variedades de cacao.

En el Cuadro 1 se presentan las notas de olor que se detectaron durante las pruebas sensoriales y a través del proceso, hasta la sobrefermentación (9 días). Estas notas han sido asociadas por varios autores (Aculey et al., 2010; Frauendorfer y Schieberle 2008; Rodríguez-Campos et al., 2011) como las responsables de producir tanto aromas deseados como no deseados en las semillas de cacao fermentadas.

En el día cero de fermentación las notas percibidas por los panelistas entrenados tenían la característica de producir olores frutales y dulces. Para los olores frutales, los panelistas mencionaron gran diversidad de frutos tropicales (guanábana, banano, chicozapote, etc.), los cuales podrían ser consensuados como olor a frutas tropicales según se reporta en otros estudios. En el día 1 de fermentación se percibieron notas de aromas a “productos alcohólicos” en los cacaos de las variedades Criollo y Trinitario; lo anterior puede ser el

resultado de los procesos metabólicos de los microorganismos presentes; algo que no ocurrió para el cacao Forastero.

La diversidad de notas frutales fue disminuyendo gradualmente en los días siguientes, pero su presencia no desapareció por completo. A partir del día dos de fermentación, las notas ácidas comenzaron a percibirse en los tratamientos de la variedad Criollo; mientras que para las variedades Trinitario y Forastero, estas notas se presentaron en los días 4 y 5, respectivamente. Durante los días restantes de la fermentación, la percepción de estas notas fue constante. Algo muy notorio de los olores descritos fue la cantidad de descriptores, ya que para la variedad Criollo se obtuvieron siempre la mayor cantidad de notas, lo cual está relacionado de manera directa con mayor número de compuestos volátiles responsables de estos aromas y que han sido descritos previamente (Rodríguez-Campos et al., 2011).

**Cuadro 1.** Olores detectados por panelistas entrenados durante la fermentación controlada de tres variedades de cacao.

Tiempo de fermentación (días)	Variedad de cacao		
	Criollo	Trinitario	Forastero
0	Azúcar Guanábana Banano Chicozapote Miel	Azúcar Guanábana Kiwi Flores	Azúcar Banano Papausa
1	Alcohol Levadura Flores Miel Curtido de nance Guanábana Chicozapote Piña	Azúcar Alcohol Fermentado Miel Chicozapote Aguamiel	Banano Piña Miel Dulce Flores
2	Ácido acético Miel Fermentado Azúcar fermentada Taberna	Alcohol Azúcar Fermentado Flores Aguamiel	Alcohol Yogurt Fruta seca Flores
3	Alcohol Tepache Ácido acético Taberna Levadura	Taberna Fermentado	Alcohol Fermentado Levadura Vino
4	Alcohol Tepache Ácido acético Fermentado Flores	Alcohol Tepache Taberna Azúcar fermentada Ácido acético	Tepache Taberna Fermentado
5	Ácido acético Alcohol Fermentado	Cacao tostado Tepache Ácido acético Ciruela Miel	Ácido acético Alcohol Tepache Fermentado Café tostado
6	Azúcar fermentada Miel Levadura Fermentado Tepache	Maíz tostado Ácido acético Chocolate	Ácido acético Alcohol Tepache Café tostado Chocolate
7	Tepache Ácido acético Fermentado	Ácido acético Chocolate	Ácido acético Alcohol Cacao tostado
8	Ácido acético Flores Alcohol Tepache	Ácido acético Alcohol	Rancio Ácido acético
9	Ácido acético Cerveza rancia	Humedad Ácido acético Áspero	Moho Humedad

La presencia de las notas de ácido acético es un indicativo de la presencia y actividad de bacterias aerobias, principalmente bacterias ácido acéticas (BAA), mismas que metabolizan el alcohol y otros sustratos presentes en la masa de fermentación para producir ácido acético que ingresa a los cotiledones y disminuye el amargor y la astringencia (Soumahoro et al., 2020). La mayor abundancia de las BAA

es también un indicio del final del proceso de fermentación (De Vuyst y Leroy, 2020) y se ha reportado que esto puede ocurrir desde las 48 y hasta las 96 h de fermentación espontánea (Pacheco-Montealegre et al., 2020). A pesar de que en el cacao Criollo se detectó desde el día 2, la percepción de éstas en alta intensidad fue descrita por los panelistas para los días 6 para cacao Criollo y el día 7 para

las variedades Trinitario y Forastero. Este resultado en conjunto con notas percibidas como desagradables (humedad, rancidez, moho) están asociadas a la sobre-fermentación de las semillas (Vázquez-Ovando et al., 2015a). Después del día 7 de fermentación las notas desagradables se hicieron presentes. Lo anterior, aunado a los demás parámetros evaluados, permiten establecer los tiempos óptimos de fermentación de cada una de las variedades aquí evaluadas.

En cacao Criollo se observa que los descensos en el contenido de SST, AR y AT suceden en el transcurso del día 2 y 3, días en los cuales se percibieron las notas ácidas para esta variedad, manteniéndose estable a partir del día 4. Por lo anterior y tomando en cuenta también los olores descritos, se puede establecer que el día 3 se completa la fermentación para los cacaos de la variedad Criollo que posean las condiciones iniciales aquí descritas y bajo el procedimiento aquí sugerido.

Para los cacaos Forastero y Trinitario, los valores en el contenido de AR tienden a ser estacionarios en los días 6 y 7 respectivamente, los valores de SST presentan esta tendencia a partir del día 4 y los valores de acidez presentan un comportamiento más estable en los días 6 para cacao Forastero y en el día 7 para cacao Trinitario, no obstante, las notas ácidas fueron percibidas por los panelistas a partir del día 4 para cacao Trinitario y a partir del día 5 para cacao Forastero. Analizando los datos obtenidos para estas variedades y considerando los juicios emitidos por los panelistas se puede inferir que la presencia de notas ácidas en estos días no está asociada con sobre-fermentación de las semillas, debido a que los panelistas describieron las notas ácidas percibidas durante estos días como de baja intensidad. Siguiendo el mismo criterio que para la variedad Criollo, se propone que los tiempos de fermentación apropiados para las variedades Forastero y Trinitario son de 5 días.

En el Cuadro 2 se muestran las notas sensoriales obtenidas de las semillas fermentadas y tostadas de las tres variedades fermentadas a distintos tiempos de fermentación (3 días para Criollo y 5 días para Trinitario y Forastero). Lo anterior se realizó para investigar todos los descriptores posibles relacionados con las muestras del sur de México y dado que los tiempos de fermentación son los apropiados para cada variedad, los aquí descritos representan la descripción completa de los cacaos de Soconusco México. Previamente se ha reportado descriptores genéricos para todos los cacaos del mundo (olor ácido y a chocolate, etc.) pero también algunas muy poco frecuentes como especias, avellanas con muestras similares a las empleadas en el presente estudio (Vázquez-Ovando et al., 2015a).

Los resultados revelaron un total de 10 notas de olor agradables y 3 desagradables, la presencia de las notas “desagradables” está dada por moléculas cuya presencia no es posible eliminar sino solamente controlar. Durante el tostado aparecen moléculas relacionadas con olor a humo dado por fenoles (Rodríguez-Campos et al., 2012) o furfural (Escobar et al., 2021) que explican la presencia del olor a

quemado. Los olores ácido y alcohol son hasta cierto punto importantes en las semillas de cacao, pues denotan que las semillas fueron fermentadas. Las notas percibidas por los panelistas como agradables, pueden ser el resultado de un adecuado procesamiento de las semillas, las cuales se desarrollan en la primera etapa del procesamiento y otras que se generan durante las siguientes etapas (secado y tostado). Marseglia et al. (2020) mencionan que la temperatura adecuada para tostar los granos de cacao es a 140 °C debido a que, al interpretar el comportamiento de los diferentes perfiles sensoriales, destacan una predominancia elevada del sabor/aroma a chocolate, en conjunto con los atributos aromáticos floral y frutal a esa temperatura de tostado, sin embargo, en ese estudio realizado, el tiempo de tostado fue mayor al que se empleó en el presente estudio, lo cual estaría revelando que los cacaos analizados requieren menor tiempo de tostado o que los recipientes empleados para ese propósito tienen un efecto marcado.

**Cuadro 2.** Descriptores sensoriales encontrados en semillas fermentadas y tostadas de cacao de las variedades Criollo, Trinitario y Forastero.

Percepción	Olor	Sabor
Agradable	Flores	Frutos secos
	Miel	Chocolate
	Canela	Café
	Frutos secos	Maíz tostado
	Leche	Miel
	Café	
	Chocolate	
	Pan dulce	
	Maíz tostado	
	Chocolate	
Desagradable	Ácido	Amargo
	Quemado	Quemado
	Alcohol	Especias
		Verde
		Astringente

De igual manera, se detectó en total, 10 sabores, de los cuales, 5 fueron percibidos como agradables y 5 como desagradables. La presencia de sabor amargo, verde y astringente está relacionada con la presencia de alcaloides y polifenoles, los cuales se sabe se encuentran en alta concentración en las semillas de cacao (Guzmán-Penella et al., 2023). El sabor a especias percibido se ha relacionado con la presencia de 2-fenil-etanol en almendras de cacao y antes ya se reportó en las mismas muestras (Vázquez-Ovando et al., 2015a). Otras moléculas pungentes como el pentanol pueden también estar relacionados con este descriptor (Escobar et al., 2021).

Contrario con los reportes de Vázquez-Ovando et al. (2015a) no se encontraron los descriptores a moho y “*off-odor*” lo cual revela que tal como se planteó en la hipótesis de este estudio, que esos descriptores en aquel estudio fueron el resultado del proceso prolongado de fermentación dentro de la mazorca (6 días), lo cual afectó el proceso sobre todo para

los cacos más Criollos los cuales demostramos en este estudio que requieren de solamente 3 días de fermentación.

#### 4. Conclusión

Con base en las pruebas sensoriales y los parámetros analizados, se establecieron los tiempos de fermentación para los cacaos del sur de México de las tres variedades morfogeográficas. Para la variedad Criollo se estableció 3 días de fermentación y está asociado con valores en la pulpa de pH= 3.7, AT= 0.226%, AR= 2.3 mM y 5.4 °Brix. Para la variedad Forastero después de 5 días de fermentación se tienen valores de pH= 3, AT= 0.508%, AR= 8.02 mM y 6 °Brix. Para la variedad Trinitario, también se establecieron 5 días de fermentación con valores de pH= 3, AT= 0.789%, AR= 8.86 y 6.4 °Brix.

Estos tiempos de fermentación se comprueban con la presencia de notas características y asociadas con aromas y sabores agradables de las semillas de cacao tostadas; así como con la ausencia de notas relacionadas con procesos de sobrefermentación.

#### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

#### Referencias

AOAC. 2010. Official methods of analysis of AOAC International. Horwitz W, Latimer G. (eds). 18th edition, Rev. 3. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA.

Aculey PC, Snitkjaer P, Owusu M, Bassompierre M, Takrama J, Nørgaard L, Petersen MA, Nielsen DS. 2010. Ghanaian cocoa bean fermentation characterized by spectroscopic and chromatographic methods and chemometrics. *Journal of Food Science* 75(6): S300-S307.

Afoakwa EO, Kongor JE, Takrama JF, Budu AS. 2013. Changes in acidification, sugars and mineral composition of cocoa pulp during fermentation of pulp pre-conditioned cocoa (*Theobroma cacao*) beans. *International Food Research Journal* 20(3): 1215-1222.

Afoakwa EO, Paterson A, Fowler M, Ryan A. 2008. Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 48(9): 840-857.

Akoa SP, Boulanger R, Onomo PE, Lebrun M, Ondobo ML, Lahon MC, Ntyam-Mendo SA, Niemenak N, Djocgoue PF. 2023. Sugar profile and volatile aroma composition in fermented dried beans and roasted nibs from six controlled pollinated Cameroonian fine-flavor cocoa (*Theobroma cacao* L.) hybrids. *Food Bioscience* 53: 102603.

Castro-Alayo EM, Idrogo-Vásquez G, Siche R, Cardenas-Toro FP. 2019. Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa. *Heliyon* 5(1): e01157.

Cornejo OE, Yee MC, Dominguez V, Andrews M, Sockell A, Strandberg E, Livingstone III D, Stack C, Romero A, Umaharan P, Royaert S, Tawari NR, Ng P, Gutierrez O, Phillips W, Mockaitis K, Bustamante CD, Motamayor, J. C. (2018). Population genomic analyses of the chocolate tree,

*Theobroma cacao* L., provide insights into its domestication process. *Communications Biology* 1(1): 167.

De Souza PA, Moreira LF, Sarmiento DH, da Costa FB. 2018. Cacao—*Theobroma cacao*. En: Rodrigues S, de Oliveira-Silva E, Sousa de Brito E (eds). *Exotic fruits*. Academic Press. Pp. 69-76.

De Vuyst L, Leroy F. 2020. Functional role of yeasts, lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in cocoa fermentation processes. *FEMS Microbiology Reviews* 44(4): 432-453.

Escobar S, Santander M, Zuluaga M, Chacón I, Rodríguez J, Vaillant F. 2021. Fine cocoa beans production: Tracking aroma precursors through a comprehensive analysis of flavor attributes formation. *Food Chemistry* 365: 130627.

Fraudendorfer F, Schieberle P. 2008. Changes in key aroma compounds of Criollo cocoa beans during roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56(21): 10244-10251.

Guzmán-Penella S, Boulanger R, Maraval I, Kopp G, Corno M, Fontez B, Fontana A. 2023. Link between flavor perception and volatile compound composition of dark chocolates derived from Trinitario cocoa beans from Dominican Republic. *Molecules* 28(9): 3805.

Jaimez RE, Barragan L, Fernández-Niño M, Wessjohann LA, Cedeño-García G, Sotomayor Cantos I, Arteaga F. 2022. *Theobroma cacao* L. cultivar CCN 51: a comprehensive review on origin, genetics, sensory properties, production dynamics, and physiological aspects. *PeerJ* 10: e12676.

Marseglia A, Musci M, Rinaldi M, Palla G, Caligiani A. 2020. Volatile fingerprint of unroasted and roasted cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) from different geographical origins. *Food Research International* 132: 109101.

Miller GL. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry* 31: 426-428.

Motamayor JC, Mockaitis K, Schmutz J, Haiminen N, Livingstone III D, Cornejo O, Findley SD, Zheng P, Utró F, Royaert S, Sasaki C, Jenkins J, Podicheti R, Zhao M, Scheffler BE, Stack JC, Feltus FA, Mustiga GM, Amores F, Phillips W, Marelli JP, May GD, Shapiro H, Ma J, Bustamante CD, Schnell RJ, Main D, Gilbert D, Parida L, Kuhn DN. 2013. The genome sequence of the most widely cultivated cacao type and its use to identify candidate genes regulating pod color. *Genome Biology* 14(6): r53.

Pacheco-Montealegre ME, Dávila-Mora LL, Botero-Rute LM, Reyes A, Caro-Quintero A. 2020. Fine resolution analysis of microbial communities provides insights into the variability of cocoa bean fermentation. *Frontiers in Microbiology* 11: 650.

Perez M, Lopez-Yerena A, Vallverdú-Queralt A. 2021. Traceability, authenticity and sustainability of cocoa and chocolate products: A challenge for the chocolate industry. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 62(2): 475-489.

Portillo E, Graziani De Farinas L, Betancourt E. 2007. Análisis químico del cacao criollo porcelana (*Theobroma cacao* L.) en el sur del lago de Maracaibo. *Revista de la Facultad de Agronomía* 24: 522-546.

Rodríguez-Campos J, Escalona-Buendía HB, Contreras-Ramos SM, Orozco-Avila I, Jaramillo-Flores E, Lugo-Cervantes E. 2012. Effect of fermentation time and drying temperature on volatile compounds in cocoa. *Food Chemistry* 132(1): 277-288.

Rodríguez-Campos J, Escalona-Buendía HB, Orozco-Avila I,

- Lugo-Cervantes E, Jaramillo-Flores ME. 2011. Dynamics of volatile and non-volatile compounds in cocoa (*Theobroma cacao* L.) during fermentation and drying processes using principal components analysis. *Food Research International* 44(1): 250-258.
- Santander-Muñoz M, Rodríguez-Cortina J, Vaillant FE, Escobar-Parra S. 2020. An overview of the physical and biochemical transformation of cocoa seeds to beans and to chocolate: Flavor formation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60(10): 1593-1613.
- Sequine E, Mills D, Marelli JP, Motamayor-Arias JC, Coelho IDS. 2014. U.S. Patent Application No. 14/238,373.
- Soumahoro S, Ouattara HG, Droux M, Nasser W, Niamke SL, Reverchon S. 2020. Acetic acid bacteria (AAB) involved in cocoa fermentation from Ivory Coast: species diversity and performance in acetic acid production. *Journal of Food Science and Technology* 57: 1904-1916.
- Streule S, Leischfeld SF, Galler M, Schwenninger SM. 2022. Monitoring of cocoa post-harvest process practices on a small-farm level at five locations in Ecuador. *Heliyon* 8(6): e09628.
- Vázquez-Ovando A, Chacón-Martínez L, Betancur-Ancona D, Escalona-Buendía H, Salvador-Figueroa M. 2015a. Sensory descriptors of cocoa beans from cultivated trees of Soconusco, Chiapas, Mexico. *Food Science and Technology* 35(2): 285-290.
- Vázquez-Ovando A, Molina-Freaner F, Nuñez-Farfán J, Betancur-Ancona D, Salvador-Figueroa M. 2015b. Classification of cacao beans (*Theobroma cacao* L.) of southern Mexico based on chemometric analysis with multivariate approach. *European Food Research and Technology* 240: 1117-1128.
- Vázquez-Ovando JA, Molina-Freaner F, Nuñez-Farfán J, Ovando-Medina I, Salvador-Figueroa M. 2014. Genetic identification of *Theobroma cacao* L. trees with high Criollo ancestry in Soconusco, Chiapas, Mexico. *Genetics and Molecular Research* 13(4): 10404-10414.
- Velásquez-Reyes D, Rodríguez-Campos J, Avendaño-Arrazate C, Gschaedler A, Alcázar-Valle M, Lugo-Cervantes E. 2023. Forastero and Criollo cocoa beans, differences on the profile of volatile and non-volatile compounds in the process from fermentation to liquor. *Heliyon* 9(4): e15129.
- Zhao J, Fleet G. 2014. Yeasts are essential for cocoa bean fermentation. *International Journal of Food Microbiology* 174: 72-87.