



Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

División Académica de Ciencias Agropecuarias



**ESTUDIO DEL EFECTO DE TEMPERATURA, RPM Y
TIEMPO DE TOSTADO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.)
SOBRE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS Y
MICROBIOLÓGICAS EN UN SISTEMA TRADICIONAL.**

TRABAJO RECEPCIONAL QUE PRESENTA:

DANIEL MORENO RAMOS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

BAJO LA MODALIDAD DE:

TESIS

ASESORES:

**DR. PEDRO GARCIA ALAMILLA
M.C. JUDITH ESPINOSA MORENO**

VILLAHERMOSA, TABASCO; AGOSTO DEL 2014



UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

"2014, Conmemoración del 150 Aniversario de
la Gesta Heroica del 27 de febrero de 1864"

04 de julio de 2014

LIC. MARIBEL VALENCIA THOMPSON.
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE CERTIFICACIÓN Y
TITULACIÓN DE LA UJAT.
P R E S E N T E.

Por este conducto y de acuerdo a la solicitud correspondiente por parte del interesado(a), informo a usted, con base al artículo 86 del Reglamento de Titulación Vigente en esta Universidad, la Dirección a mi cargo **autoriza** al (la) C. Daniel Moreno Ramos, con matrícula 082C11031, egresado(a) de la licenciatura de Ingeniería en Alimentos, de la División Académica de Ciencias Agropecuarias, **la impresión de su trabajo recepcional** bajo la modalidad de **Tesis** Titulado: **"Estudio del efecto de temperatura, tiempo y RPM de tostado de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre sus características fisicoquímicas y microbiológicas en un sistema tradicional"**.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

DR. ROBERTO FLORES BELLO
DIRECTOR



C.c.p.- Expediente.
Alumno.
DR.RFB/MC.GGA



Carretera Villahermosa-Teapa Km. 25 R/A La Huasteca 2° Sección Villahermosa,
Tabasco

C.P. 86280 Tel. (993) 358-15-85, 142-91-51 Ext. 6608

E-mail: direccion.daca@ujat.mx

docencia.daca@ujat.mx

CARTA DE AUTORIZACION

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente la tesis de grado denominada **“ESTUDIO DEL EFECTO DE TEMPERATURA, RPM Y TIEMPO DE TOSTADO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) SOBRE SUS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS EN UN SISTEMA TRADICIONAL”**, de la cual soy autor y titular de los derechos de autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de la tesis antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa mas no limitativa para subirla a la red abierta de bibliotecas digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudieran ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en este documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco a los 16 días del mes de Julio del año 2014.

AUTORIZO



Daniel Moreno Ramos

Tesista

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría que estas líneas sirvieran para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a los profesores: M.A. Judith Espinosa Moreno, M.C. Dora Centurión Hidalgo y al Dr. Pedro García Alamilla, por la orientación, paciencia, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años.

Agradezco también a todas las personas que de una u otra forma estuvieron conmigo apoyándome, familiares, amigos, a mi novia; porque cada una aportó con un granito de arena; y es por ello que a todos y cada uno de ustedes les dedico todo el esfuerzo, sacrificio y tiempo que entregué a esta tesis.

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida.

A mis padres que con sus demostraciones me han enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos cada vez que corrige mis faltas y celebra mis triunfos.

A mis maestros que en este andar por la vida, influyeron con sus lecciones y experiencias en formarme como una persona de bien y preparada para los retos que pone la vida.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURA.....	ix
RESUMEN	x
1. INTRODUCCION	1
2. ANTECEDENTES	2
2.1 Descripción del cacao	3
2.2 El cacao en el mundo.....	4
2.3 Cacao en México	5
2.4 Cacao en Tabasco	6
2.5 Proceso de poscosecha de cacao	7
2.6 Proceso de fermentación	7
2.7 Proceso de secado	8
2.8 Tostado	9
2.9 Clasificación de los equipos de tostado	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS	13
3.1 Preparación de la muestra y tostado.....	13
3.2 Determinación de parámetros fisicoquímicos	14
3.2.1 Determinación de propiedades físicas	14
3.2.2 Determinación de humedad.....	15
3.2.3 Determinación de acidez de los granos	15
3.2.4 Determinación de pH	16
3.2.5 Determinación de materia grasa	16
3.2.6 Extracto Acuoso para determinación de Fenoles.	16
3.3 Determinación de parámetros microbiológicos	17
3.4 Análisis estadístico.....	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	21
4.1 Modelo de ajuste.....	21
4.2 Cambios en las dimensiones físicas durante el tostado de cacao	23
4.3 Cambios en las variables fisicoquímicas durante el tostado de cacao.....	28

4.4 Cambios en las variables microbiológicas durante el tostado de cacao	35
4.5 Optimización de respuestas múltiples.....	38
5. CONCLUSIONES.....	41
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
7. ANEXOS	46
ANEXO A. Análisis de varianza de las variables de respuestas	46
ANEXO B. Equipo de Tostado “Sistema de Tambor Rotatorio”	53
ANEXO C. Acervo fotográfico del desarrollo experimental	54

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1	Matriz de variables codificadas y naturales de los granos de cacao tostado en tambor rotatorio.	20
Cuadro 2	Coeficiente de regresión del polinomio de segundo orden para las variables de respuesta.	22
Cuadro 3	Matriz de resultados de las dimensiones físicas de los granos de cacao tostado en tambor rotatorio.	24
Cuadro 4	Matriz de resultados de las variables fisicoquímicas de los granos de cacao durante el tostado en tambor rotatorio.	29
Cuadro 5	Matriz de resultados de las variables microbiológicas de los granos de cacao durante el tostado en tambor rotatorio.	36
Cuadro 6	Valores observados experimentales de acuerdo al diseño factorial central rotatable.	39
Cuadro 7	Factores y los valores óptimos encontrados.	39
Cuadro 8	Valor de las variables de respuesta en función a las óptimas encontradas.	40

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1	Las acciones básicas en metodología de superficie de respuesta (MSR).	18
Figura 2 a	Superficie de respuesta y de contorno del largo promedio de un grano de cacao durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	25
Figura 2 b	Superficie de respuesta y de contorno del ancho promedio de un grano de cacao durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	25
Figura 2 c	Superficie de respuesta y de contorno del espesor promedio de un grano de cacao durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	26
Figura 2 d	Superficie de respuesta y de contorno de la esfericidad promedio de un grano de cacao durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	26
Figura 2 e	Superficie de respuesta y de contorno del área promedio del grano de cacao durante el tostado cacao en un sistema de tambor rotatorio	27
Figura 3	Superficie de respuesta y de contorno de la Humedad durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	30
Figura 4	Superficie de respuesta y de contorno del pH durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	31
Figura 5	Superficie de respuesta y de contorno de la Acidez total durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	32
Figura 6	Superficie de respuesta y de contorno del % Grasa durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	33
Figura 7	Superficie de respuesta y de contorno para los Fenoles totales en medio acuoso durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	34
Figura 8	Superficie de respuesta y de contorno para Mohos y Levaduras durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	37
Figura 9	Superficie de respuesta y de contorno para la Cuenta total de Bacterias Mesófilas durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.	37
Figura 10	Superficie de respuesta de la función de conveniencia para las variables a optimizar sobre el tostado de grano de cacao.	40

RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el tostado de granos de cacao (*Theobroma cacao* L) en un sistema de tambor rotatorio controlando la temperatura del área de tostado (140-180°C), la velocidad de rotación (40-60 rpm) y el tiempo de tostado (30-60 min). Las variables de respuestas evaluadas fueron fisicoquímicas (humedad, pH, acidez total, grasa, contenido fenólico total (CFT), diámetro equivalente, área superficial, esfericidad y factor de forma de los granos de cacao) y microbiológicas (Coliformes Totales, Mesófilos, Mohos y levaduras). Se utilizó un diseño central rotable (diseño factorial 2^3 con puntos centrales y axiales) para evaluar el efecto de los factores sobre las respuestas y se aplicó la metodología de superficie de respuesta. Los resultados analizados con ANOVA y análisis de regresión múltiple mostraron un efecto significativo ($p < 0.05$) del tostado en sistema rotativo sobre la humedad, grasa, CFT y las variables microbiológicas. Aunque las otras variables de respuestas no presentaron un efecto significativo de los factores al $p < 0.05$, presentaron cambios en todos los tratamientos, lo que indica la naturaleza más compleja de modelar estas respuestas. Lo anterior se confirma con la prueba de bondad de ajuste, la cual, mostró que el modelo para las variables de respuesta obedece a una relación no lineal.

1. INTRODUCCION

La finalidad del tostado de los granos de cacao es la de modificar los compuestos precursores del sabor y aroma formados durante la fermentación para dar como resultado los productos químicos responsables del sabor y aroma final del producto, a temperaturas excesivas pueden ocasionarse sabores y aromas desagradables; por el contrario un escaso tratamiento térmico dará como resultado un producto de pobre sabor y aroma. Por consecuencia, establecer la temperatura y el tiempo de tostado son determinantes en la búsqueda de los atributos de calidad. Sin embargo, el papel que juega el tipo de sistema de tostado influye también, bien sea un sistema de tostado de forma conductiva, convectiva o por radiación. Existen diferentes métodos de tostado que involucran procesos por lotes o continuo, calentamiento directo o indirecto o bajo condiciones secas o húmedas. Desde que estas técnicas modernas de tostado han sido introducidas a la industria del chocolate, el tiempo y temperatura adecuados no han sido establecidos todavía. Por ello, para cada tipo de sistema, es necesario encontrar las condiciones de operación que permitan optimizar las variables de respuestas más adecuadas. En el presente estudio se evaluó un sistema de tostado en tambor rotatorio que permite establecer la temperatura de tostado y la velocidad de rotación, además de contar con un sistema de extracción de aire en el interior del tambor. El sistema cuenta también con un sistema interior de alabes radiales que permiten que los granos de cacao se distribuyan homogéneamente durante la rotación y que no solamente se desplacen sobre las paredes del tambor. Por lo anterior el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la temperatura, rpm y tiempo del tostado de un sistema de tambor rotatorio sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas de granos de cacao.

2. ANTECEDENTES

Jinap *et al.* (1998) estudiaron el efecto del tiempo y temperatura de tostado sobre los compuestos volátiles de granos de cacao de Malasia. En su estudio identificaron cerca de 53 compuestos, dentro de los cuales los ésteres y las pirazinas fueron los más encontrados, seguidos de carbonilos y de compuestos fenólicos, alcoholes, cetonas, ácidos, monoterpenos y un grupo furano. El estudio se llevó a cabo en cromatografía de gases acoplado con espectroscopia de masas. En sus resultados encontraron que la temperatura y el tiempo afectan el desarrollo del sabor y aroma, encuentran también que a temperatura mayor a 130°C y tiempos de más de 25 min., fueron deseables para la formación de pirazinas; sin embargo, a temperaturas altas (160°-170°C) y tiempos cortos (5-15 min.) se encontraron grandes unidades de ésteres por área, las cuales disminuyeron con tiempos prolongados de tostado (45-65 min.). Los alcoholes que juegan un papel importante en los parámetros de olor frutal y floral presentaron altas áreas unitarias a condiciones de temperaturas bajas (110-120°C), pero disminuyeron a temperaturas bajas (110-140°C) y tiempos largos (45-65 min). Contrario a los alcoholes, los compuestos carbonilos requieren baja temperatura (110-120°C) con tiempos largos (55-65 min) para producir altas áreas unitarias. El área unitaria de los compuestos fenólicos se redujo significativamente en temperaturas de tostados altas (160-170°C) con tiempos de tostados largos (45-65 min), mientras que se incrementó a temperaturas bajas (110-140°C) con 5-30 minutos.

Stobinska *et al.* (2006) estudiaron el efecto de las condiciones del tostado convectivo sobre la seguridad microbiológica de granos de cacao, variedad de Costa de Marfil se sometieron a temperaturas de 135 - 150 °C, con una humedad relativa de 2-10% y un flujo de aire constante (1 m s⁻¹), determinó el número total de bacterias aeróbicas y sus esporas, microflora más importante de cacao tostado. Las colonias fueron contadas después de 48 horas de incubación a 28 °C y los resultados fueron expresados como ufc g⁻¹. Los resultados de las pruebas

demonstraron que la temperatura bactericida más efectiva independientemente de la humedad relativa del aire es la de 150°C. El tostado por 45 minutos a 135°C y humedad relativa del 2% reduce la microflora propia de los granos de cacao hasta a 10⁴ufc/g.

Álvarez *et al.* (2007) caracterizaron físico-químicamente granos de cacao fermentados, secos y tostados provenientes de 5 genotipos que forman parte de la colección del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA) en la región de Cuyagua, Venezuela. El tostado de los granos se realizó a una temperatura de 150°C por 30 minutos. Todos los índices evaluados fueron comparados con una muestra de cacao proveniente de la región usada como patrón de referencia. Al compararlos con la muestra patrón, las diferencias fueron significativas en el contenido de fibra cruda, azúcares reductores y azúcares totales, compuestos fenólicos, ácidos grasos saturados (palmítico, C16:0 y esteárico, C18:0) e insaturados (oleico, C18:1).

De acuerdo con Mermet *et al.* (1992) optimizar las condiciones de torrefacción del cacao significa usar su máximo potencial en la formación de aromas. Las variables que con mayor frecuencia se utilizan en los estudios para evaluar aspectos o atributos de calidad son aquellos que participan en el desarrollo del color tales como compuestos fenólicos, los que participan en el desarrollo del sabor y el gusto tales como la interacción de proteínas y polifenoles, cantidad de ácidos presentes, etc.

2.1 Descripción del cacao

Los granos de cacao se obtienen de un árbol esterculiáceo llamado cacaotero, los cuales se encuentra dentro de su fruto, llamado baya, que es conocido como mazorca o vaina, en los países productores. Esta baya constituye el recubrimiento de los granos que se encuentran en su interior distribuidos uniformemente en

forma de una placenta axial recubierta de una masa o pulpa mucilaginosa de color blanco (Schwan *et al.*, 1995; Braudeau, 1974).

El árbol del cacao, *Theobroma cacao*, se cultivó inicialmente en Centroamérica por los mayas de Yucatán, por los aztecas de México y los Incas en Perú cuando los europeos descubrieron América Central (Beckett, 2002). Los aztecas creían que el árbol de cacao tenía un origen divino, creencia que se reflejó en la denominación *Theobroma*-alimento de dioses- que Linneo le dio al género (Varnam y Sutherland, 1997). Se denomina cacao al fruto extraído de las mazorcas maduras, fermentado o no y seco (NMX-FF-103-SCFI-2003).

Los granos de cacao son la fuente del cacao comercial, chocolate y manteca de cacao. Dentro de las operaciones más importantes implicadas en la producción de cacao en las que se llevan a cabo cambios químicos durante el procesado tenemos la fermentación, secado y tostado (Brito *et al.*, 2001). Estos pueden dar como resultado diferentes atributos tales como intensidad de aroma, amargura, astringencia y acidez (Luna *et al.*, 2002).

2.2 El cacao en el mundo

El cacao se cultiva principalmente en África del Oeste, América Central, Sudamérica y Asia, de los cuales ocho son los principales países productores: Costa de Marfil, Ghana, Indonesia, Nigeria, Camerún, Brasil, Ecuador y Malasia. Estos países representan el 90% de la producción mundial. América Latina produce el 12% del cacao mundial, especialmente Brasil y Ecuador; sin embargo, Brasil, a pesar de ser productor, destina su producción al consumo interno. En el caso de México, éste participa con el 0.01% de la producción mundial. La producción mundial de cacao se ha mantenido estable en los últimos cinco años. Entre los años 2000 y 2007 registró una Tasa Media Anual de Crecimiento del 4.2%, lo que representa un incremento promedio de 145 mil toneladas por año. Como consecuencia de las condiciones meteorológicas adversas, así como a los

bajos rendimientos del cacao, entre 2004 y 2006 se registró una disminución en la producción mundial del 3% (Financiera Rural, 2009).

Consumo Mundial

Mientras que las molindas totales del mundo reflejan exactamente la demanda global para los granos de cacao sobre el mediano y largo plazo, los aumentos en las molindas no indican necesariamente incrementos en el consumo real; ello, debido al comercio internacional significativo de productos derivados del cacao y de chocolate. Una medida más apropiada para determinar el consumo del cacao, es la cantidad de granos de cacao usados en la fabricación de los productos de la confitería, alimento, bebidas o de los cosméticos que se consumen realmente en cada país o en la región. Esta medición del consumo se calcula como molindas más las importaciones netas del cacao, chocolate y derivados. Europa concentra el 42% del consumo mundial, América el 35% y Asia el 13% del consumo total. El principal consumidor individual de chocolate es Estados Unidos con el 37.5% (Financiera Rural, 2009).

2.3 Cacao en México

De 2001 a 2009 la producción de cacao disminuyó 47%, pasando de 46,700 a 24,700 toneladas. La caída en la producción está vinculada principalmente a la presencia de la enfermedad denominada moniliasis y su rápida diseminación al 95% de la superficie cultivada en México así como al envejecimiento de las plantaciones y el descuido de las mismas. El cacao en México se cultiva actualmente por cerca de 37,000 productores en los estados de Tabasco (67%), Chiapas (32%), Guerrero (0.1%) y Oaxaca (0.9%) (Cacao México, s/a).

Tabasco produjo 26,993 toneladas anuales en promedio entre el año 2002 y 2008; sin embargo, para este último año la producción total fue de 19,438 toneladas, lo que equivale a un decremento del 13% respecto a la producción

presentada en 2007. El año de 1993 fue el año en que se registró la mayor producción de cacao para este estado, ya que se produjeron 39,924 toneladas. El estado presenta en promedio una disminución anual de la producción del -8.1 % para el periodo 2002-2008. **Chiapas** como segundo estado productor de cacao entre 2002 y 2008 produjo en promedio 11,687 toneladas por año, y para el cierre de 2008, la producción total fue de 7,900 toneladas, cifra 7% mayor a la producción de 2007. En 2003, Chiapas alcanzó una producción récord de 16,746.4 toneladas; sin embargo, a partir de ese año, su producción presenta una tendencia a la baja y de igual manera que para los otros estados, Chiapas presentó una disminución promedio en la producción del -4.8% anual durante el periodo 2003-2008. Los estados de **Guerrero y Oaxaca** representan, tan sólo el 1.0% de la producción nacional con 196.0 y 14.0 toneladas, respectivamente (Financiera Rural, 2009).

2.4 Cacao en Tabasco

La región productora del estado de Tabasco se encuentra distribuida en diez municipios: Huimanguillo, Paraíso, Cárdenas, Tacotalpa, Balancán, Nacajuca, Comalcalco, Cunduacán, Jalpa de Méndez y Teapa. La cosecha de cacao se realiza prácticamente durante todo el año, existiendo diferentes etapas de corte; destacando la que se inicia en septiembre y termina en febrero del año siguiente, debe realizarse con una frecuencia de 8 a 10 días para obtener un grado de madurez uniforme y evitar pérdidas por sobremaduración y ataque de aves; aportando de un 40 a 50 por ciento de la cosecha anual. El rendimiento de este cultivo en el estado de Tabasco generalmente ha sido de entre los más altos en el territorio nacional (a excepción de los años 1990 y 1992 en los que Oaxaca ocupó el primer lugar) inclusive situándose por encima de los rendimientos promedios nacionales; de tal manera que durante el período analizado, el rendimiento promedio anual de Tabasco fue de 0.720 ton/ha, la tendencia en este rubro ha seguido un camino bastante irregular, ya que en algunos años se ubica alto, y en

otros se contrae, mientras que el rendimiento nacional promedio se ubicó en 0.650 ton/ha. Esto indica las enormes ventajas que se tienen en esta región; pese a ello de acuerdo con informaciones de la SARH y de la Unión Nacional de Productores de Cacao (UNPC), para que el cultivo sea costeable en la región necesita alcanzar rendimientos mínimos de 0.800 ton/ha. Para el periodo de 1994, el rendimiento sufre una considerable contracción en dicho estado, ya que mientras el año pasado ésta se ubicó en 0.810 ton/ha para este año sólo logró alcanzar 0.503 ton/ha., lo que implica una disminución del 38%, pese al programa de incremento a la producción que benefició a la totalidad de superficies dedicadas a esta actividad (ASERCA, 1994).

2.5 Proceso de poscosecha de cacao

Los granos de cacao son la fuente del cacao comercial, chocolate y manteca de cacao. Previo a su industrialización los granos de cacao desarrollan sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales mediante un proceso poscosecha que consta de los siguientes procesos: la fermentación, el secado y el tostado (Brito *et al.*, 2001)

2.6 Proceso de fermentación

La separación de la pulpa que rodea los granos del cacao proporciona una evidencia visual del curso de la fermentación. La fermentación, inicia con las levaduras que convierten los azúcares de la pulpa en alcohol etílico. Se producen así las condiciones iniciales anaerobias, luego las bacterias empiezan a oxidar el alcohol a ácido acético y posteriormente a dióxido de carbono y agua, produciendo más calor y la consiguiente elevación de la temperatura durante las primeras 24

horas, hasta más de 40° C en una buena fermentación activa (Beckett, 1994). Los principales objetivos de la fermentación son:

1. La fermentación del mucílago que recubre al grano de cacao, la cual provocará la eliminación del mismo en su mayoría, así como la formación de alcoholes y ácidos que penetran al interior del grano y provocarán la muerte del embrión evitando la germinación que deteriora su calidad. También se presenta un conjunto de reacciones biológico - enzimáticas que favorecen la reducción del amargor y astringencia, además del desarrollo de las sustancias precursoras del aroma y sabor característico del chocolate.

2. El cambio de coloración del cotiledón al característico color marrón del chocolate.

2.7 Proceso de secado

El secado constituye la última etapa de acondicionamiento de cacao, previo a su clasificación y almacenamiento. Es en esta etapa es donde se efectuarán los últimos cambios biológicos y químicos que influirán sobre los atributos de calidad (Jinap *et al.* 1994). Durante el secado continúa la fase oxidativa de la fermentación, por lo que juega un papel importante en la disminución de la astringencia, amargor y acidez del grano, así como en el desarrollo del color marrón como consecuencia de la actividad de la polifenoloxidasas a partir de los compuestos fenólicos, lo que ocurre solamente en esta etapa (Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994).

En la mayoría de las operaciones de secado en alimentos la finalidad es disminuir la humedad para aseguramiento biológico y facilitar el transporte, el cacao no está exento de ello, pero también se debe cumplir paralelamente con otras especificaciones: a) reducir la humedad del grano inicial de 50 – 60 % hasta un

contenido aproximado de 6 a 7 % máximo a 8% para evitar el desarrollo de mohos que deterioran la calidad y además para facilitar el transporte, manejo y comercialización del cacao, b) disminuir las reacciones iniciadas durante la fermentación tanto microbiológica como enzimática, c) propiciar la oxidación de compuestos fenólicos en el cotiledón, d) disminuir la concentración de ácido acético (Varnam y Sutherland, 1997; Cros y Jeanjean, 1995; Jinap *et al.*, 1994).

2.8 Tostado

El tostado de los granos de cacao es la etapa de calentamiento controlado lo que amplifica la interacción compleja entre los precursores de sabor y aroma del chocolate resultante. Antes del tostado, los granos pueden presentar un sabor astringente, amargo, ácido, mohoso, sucio, avellanado o incluso como el chocolate dependiendo del lote examinado (Beckett, 1994). Desde un punto de vista tecnológico, las funciones del tostado son el secado de los cotiledones, la eliminación de componentes indeseables del sabor y del aroma, el desarrollo del sabor, aroma y color finales y la liberación de la cubierta (Varnam y Sutherland, 1997). Las elevadas temperaturas que tienen lugar durante el tostado eliminan muchos de los ácidos volátiles, especialmente el ácido acético y hace que los granos tengan un sabor menos ácido. Los ácidos menos volátiles, como el etanoídico (oxálico) y el láctico, permanecen sin cambios durante el proceso de tostado (Beckett, 2002).

2.9 Clasificación de los equipos de tostado

Durante el tostado, el primer evento es la reducción de la humedad que disminuye drásticamente hasta niveles del uno por ciento. El segundo evento es eliminar la testa ácida por volatilización de ácidos orgánicos, principalmente ácido acético.

Simultáneamente, el ácido tánico, que causa amargura, se pierde durante el proceso desarrollando componentes del gusto; así mismo, los compuestos fenólicos reaccionan con proteínas hidrolizadas y aminoácidos obtenidos por cambios químicos los cuales, por reacciones de polimerización y complejación, desarrollarán el sabor y aroma característicos del chocolate (Varnam y Sutherland, 1997).

Existen dos métodos alternativos de tostado. En el primero, se tuesta el grano y después se realiza el descascarillado y la molturación. En el segundo sistema, se realiza un tratamiento térmico previo para poder eliminar la cascarilla, después de este proceso sigue el tostado del grano y luego se realiza la molturación o bien una molienda fina del grano de cacao hasta que se convierte en una pasta de cacao (también conocida como masa o licor de cacao) (Beckett, 2002). Existen diferentes métodos de tostado que involucran procesos por lotes o continuo, calentamiento directo o indirecto o bajo condiciones secas o húmedas. Desde que estas técnicas modernas de tostado han sido introducidas a la industria del chocolate, el tiempo y temperatura adecuados no han sido establecidos todavía (Jinap *et al.*, 1998).

Los tostadores modernos usan gas caliente que atraviesa camas agitadas o capas de granos, también pueden usar corrientes de granos en cascadas o suspendidas. El calor es transferido comúnmente a los granos por convección. El gas que sale del tostador pasa a través de un ciclón que quita los desperdicios liberados por los granos cuando son tostados (Schwartzberg, 2002).

De acuerdo con Schwartzberg (2002), los equipos de tostado se pueden clasificar en:

- **Tostadores tipo tambor giratorio.** Los tambores giratorios horizontales son los que se ocupan con más frecuencia como cámara de tostado. Los tambores giran a una velocidad levemente más baja con la que la fuerza centrífuga haría que los granos se adhirieran a la pared del tambor. Algunos

tostadores tipo tambor giratorio tienen paredes sin perforaciones y otros sí las tienen (Schwartzberg, 2002).

- **Tostadores tipo cama fluidizada.** Los tostadores de este tipo se describen en patentes y se producen una vez. Permiten generar áreas suficientemente grandes para la transferencia de calor por unidad de peso en grano, pero no se producen más por lo que son raramente usados en la industria. Además, en este tipo de tostadores se ocupan también condiciones muy bajas de temperaturas a la entrada del gas de 232 a 276°C y tiempos muy prolongados de 10 a 20 minutos (Schwartzberg, 2002).
- **Tostadores tipo tazón giratorio.** En los tostadores de tazón giratorio los granos se conducen a través de la superficie de un tazón tipo olla de hierro por una fuerza centrífuga y lanzados hacia arriba hasta el borde del tazón. Luego los granos golpean una cubierta estacionaria circular donde vuelan hacia el interior del tazón (Schwartzberg, 2002; Feyissa *et al.*, 2009).
- **Tostadores tipo cucharada-rueda.** El cuerpo de este tostador es un canal con la parte inferior semicilíndrica y paredes laterales profundamente verticales. Las cucharas se colocan sobre una rueda que gira a través de la cama de granos en el canal. El gas caliente fluye tangencialmente hacia abajo dentro del canal a través de una abertura larga orientada axialmente o una placa de metal perforada apenas debajo de la unión de la pared lateral y la parte inferior del canal (Schwartzberg, 2002).

- **Tostadores tipo cama-remolino.** Los tostadores tipo cama-remolino son verticales y circulares en la sección, con las paredes que afilan levemente hacia fuera en la dirección ascendente. Las paredes son cubiertas por un arreglo sistemático de lo que parecen ser aberturas pequeñas y verticales (Jinap *et al.*, 1998).

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del trabajo experimental se realizó en los talleres de alimentos del programa de Ingeniería de Alimentos de la División Académica de Ciencias Agropecuarias (DACA) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) ubicada carretera Villahermosa-Teapa Km 25. Ra. La Huasteca. Centro, Tabasco.

Materia prima

80 kg de granos de cacao limpios, libres de impurezas físicas tipo comercial fermentado y seco se obtuvo de la comercializadora Intercambio Mexicano de Comercio, S.A. de C.V., ubicada en la Carretera Cárdenas – Comalcalco S/N, en el municipio de Cárdenas, Tabasco, México.

3.1 Preparación de la muestra y tostado

El proceso de tostado se realizó en un sistema de tambor rotatorio de construcción nacional con baffles en su interior (Anexo 2). El equipo consta de la unidad de tostado que es un cilindro con capacidad para tres kilogramos de cacao y con capacidad de rotación controlado con un variador de frecuencia. El cilindro cuenta con dos sistemas de medición de temperatura al interior del mismo, que permite registrar la temperatura en la superficie del cilindro y al seno del cilindro. También se cuenta con una unidad de extracción de aire de forma simultánea durante la operación del tostador. El equipo consta también de una unidad de enfriamiento justo a la salida del tambor a través de extracción de aire que permite el enfriamiento homogéneo de las partículas.

El tiempo de tostado se midió después de colocar la muestra en el interior del equipo. En cada tratamiento o corrida experimental se tomó una muestra aleatorizada que consistió de 2.5 kg de granos de cacao que se dejó enfriar a temperatura ambiente. Las muestras se subdividieron en cinco lotes de 200 g y se

almacenarán en bolsas tipo Ziplok a temperatura de refrigeración (4°C) etiquetadas con la información de la corrida experimental previos a sus análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

3.2 Determinación de parámetros fisicoquímicos

Se determinaron los parámetros característicos de los atributos de calidad de cacao de acuerdo a la Norma Mexicana establecida en NMX-FF-103-SCFI-2003 y Pontillon (1999) como son: % de materia grasa, humedad, acidez total, pH, dimensiones físicas (largo, ancho y espesor) y fenoles totales en medio acuosos.

3.2.1 Determinación de propiedades físicas

3.2.1.1 Mediciones de las propiedades físicas

De acuerdo con García-Alamilla *et al.*(2012) se tomó una muestra de treinta granos de cacao al azar por cada tratamiento para medir la longitud (L), ancho (W) y el espesor (T) con un vernier marca KNOVA. Así como medir el diámetro geométrico, esfericidad y área superficial del grano. Muchos investigadores han medido dimensiones de grano de la semilla de otras especies de una manera similar para estimar parámetros de forma y tamaño. La esfericidad, diámetro geométrico y área superficial está dada por:

$$Dg = (LWT)^{0.333} \quad (1)$$

$$\emptyset = \frac{(LWT)^{0.333}}{L} \quad (2)$$

$$S = \pi D_g^2 \quad (3)$$

El área para un factor de forma de elipsoide de revolución esta dado por:

$$Sx = 2\pi \left[\frac{L^2}{2} + \frac{2\pi}{e} \left[\frac{LW}{2} \right] \arcsen(e) \right]$$

Donde:

$$e = \frac{2}{L} \sqrt{\left(\frac{L}{2}\right)^2 - \left(\frac{w}{2}\right)^2} \quad (4)$$

3.2.2 Determinación de humedad

Se tomó 1 g de muestra molida y se depositó dentro de una cápsula previamente tarada; la muestra se colocó en una estufa a una temperatura de 105°C durante 24 horas hasta alcanzar peso constante. Los resultados se reportan como contenido de humedad en base seca (Senanayake *et al.*, 1997).

3.2.3 Determinación de acidez de los grãos

Se tomaron 5 g por muestra pulverizada y se agregó 50 ml de agua destilada, dejando en agitación durante una hora para homogenización de la muestra, después se filtró para realizar la titulación potenciométrica con NaOH al 0.1 N hasta alcanzar un pH de 8.3. Los resultados se expresaron en ml de hidróxido de sodio gastados para neutralizar la acidez libre contenida en un gramo de cacao (ml de NaOH 0.1 N / g de cotiledón o ml de NaOH 0.1 N / g de grano de cacao) (Pontillon 1999). A partir de este valor, se calculó la acidez libre y la acidez total de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\text{Acidez libre} = (V \text{ NaOH } 0.1)/5$$

El coeficiente de Zeller permite el cálculo para acidez total:

$$\text{Acidez total} = \text{Acidez libre} \left(\frac{1}{0.5792} \right) \quad (5)$$

3.2.4 Determinación de pH

La determinación consiste en la metodología propuesta por Senanayake *et al.* (1997). Se tomaron 5 g de cada muestra molida y tamizada por cada tratamiento, se le agrego cada muestra 50 ml de agua destilada, se dejó en agitación una hora para homogenización, después se filtró para realizar la medición del pH en un potenciómetro marca HANNA pH 213.

3.2.5 Determinación de materia grasa

Se eliminó de forma manual la cascavilla de los granos de cacao así como el germen, moliendo el cotiledón en un molino Krups y tamizando el polvo obtenido a través de una malla No. 20 para uniformar las partículas. Posteriormente, se colocó una muestra de 2 g en cartuchos de material poroso. La determinación de grasa se realizó por el método de extracción Soxhlet (NMX-F-089-S-1978).

3.2.6 Extracto Acuoso para determinación de Fenoles.

El extracto fue preparado de acuerdo al método modificado de Singleton y Rossi (1965) por Othman *et al.* (2007). 40 mg de cacao molido y desgrasado fueron extraídos con 4 mL de agua destilada. La mezcla se agitó por 2 horas a 200 rpm en un agitador marca Orbit Shaker. La mezcla fue filtrada a través de un papel filtro (Whatman No. 1) usando una unidad de filtración. El filtrado fue considerado como extracto de cocoa y utilizado para las pruebas de determinación de fenoles.

3.2.6.1 Determinación del Contenido fenólico total

Se tomaron 200 μ L del extracto acuoso los que se le agregaron 1.5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, se dejó en reposo durante 5 minutos y luego se le agregó 1.5 ml de Na_2CO_3 al 0.566 M, después de esto se incubó a baño maría durante 20 minutos a 40°C, transcurrido este tiempo se procedió a tomar la lectura en el espectrofotómetro a 725 nm. Los valores se reportan en mg de ácido gálico en función de una curva patrón en un intervalo de 0.01-0.1 mg/mL (Othman *et al.*, 2007)

3.3 Determinación de parámetros microbiológicos

La cuantificación de bacterias mesófilas aerobias totales, levaduras y hongos y los coliformes totales se realizó de acuerdo a sus normas (NMX-F-253-1977, NOM-111-SSA1-1994, NOM-113-SSA1-1994). Se tomó una solución madre, la cual se realizó moliendo 10 g de muestra y licuando durante 1 minuto. Posteriormente, se realizaron diluciones a partir de la solución madre hasta 10^{-8} , sembrándose 1000 μ L de cada una por triplicado de cada dilución en cajas de Petri estériles por cada tratamiento. En cajas Petri, se agregaron de 12 a 15 mL del medio preparado estéril y enfriado a una temperatura 40°C (agar cuenta estándar, ACE) para bacterias mesófilas aerobias y en agar papa dextrosa (PDA) para levaduras y hongos. Se dejaron solidificar. Se incluye una caja sin inóculo por cada lote de medio y diluyente preparado como testigo de esterilidad. El tiempo transcurrido desde el momento en que la muestra se incorpora al diluyente hasta que finalmente se adiciona el medio de cultivo a las cajas, no debe exceder de 20 minutos. Las cajas se incubaron en posición invertida (la tapa hacia abajo) por el tiempo y la temperatura requerido, según el tipo de alimento y microorganismo de que se trate. En la lectura se seleccionaron aquellas placas donde aparezcan entre 25 a 250 UFC. Se contaron todas las colonias desarrolladas en las placas seleccionadas (excepto las de mohos y levaduras), incluyendo las colonias

puntiformes. Se utilizó el microscopio para resolver los casos en los que no se pueden distinguir las colonias de las pequeñas partículas de alimento.

3.4 Análisis estadístico

La metodología de superficie de respuesta es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado “valores óptimos” de una o varias características de calidad del producto.

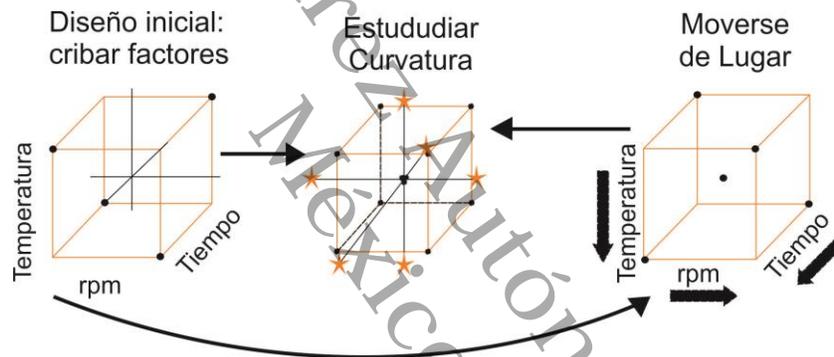


Figura 1. Las acciones básicas en metodología de superficie de respuesta (MSR).

Con el fin de explorar la presencia de curvatura en las variables de respuestas se realizó un diseño factorial 2^3 con seis puntos centrales. Comprobada la existencia se procedió a realizar un diseño central compuesto ortogonal. En el Cuadro 1 se muestra la matriz de tratamientos de las variables codificadas y naturales que fueron utilizadas para el tostado de granos de cacao en tambor rotatorio.

Las variables independientes fueron la temperatura, tiempo de tostado y rpm; las dependientes fueron las dimensiones físicas, humedad, pH, acidez total, grasa, Contenido de Fenoles totales (acuoso), coliformes, cuenta total. La correlación

entre las variables independientes (factores) y la variable dependiente fue expresada en función en términos de un polinomio de segundo orden:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=0}^k \beta_i X_i + \sum_{i<j}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_i^k \beta_i X_i^2 + \varepsilon_i \quad (6)$$

Donde Y es la respuesta, X_i , X_{ij} , las variables, β es el coeficiente constante β_i , y β_{ij} , son los coeficientes de interacción, lineales y cuadráticos respectivamente que evalúan dicho efectos. El modelo empleado se utilizó para la evaluar las variables de respuesta aplicando análisis de varianza (ANOVA). Donde las variables independientes son la temperatura (126.4-193.6 °C) y el tiempo de tostado (19.8-70.2 min).

Cuadro 1. Matriz de variables codificadas y naturales de los granos de cacao tostado en tambor rotatorio.

Tratamientos (cacao Tostado)	Variables codificadas			Variables naturales		
	X ₁ Temperatura	X ₂ Revoluciones por minuto	X ₃ Tiempo	Temperatura (°C)	Revoluciones por minuto (rpm)	Tiempo (min)
Testigo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
1	1	-1	-1	180	40	30
2	0	0	1.6	160	50	70.2
3	1	1	-1	180	60	30
4	-1	-1	1	140	40	60
5	0	0	0	160	50	45
6	0	1.6	0	160	66.8	45
7	1	-1	1	180	40	60
8	0	0	0	160	50	45
9	-1	1	1	140	60	60
10	0	0	0	160	50	45
11	1	0	0	160	50	45
12	1	1	1	180	60	60
13	-1	1	-1	140	60	30
14	-1.6	0	0	126.4	50	45
15	0	0	0	160	50	45
16	0	0	-1.6	160	50	19.8
17	0	0	0	160	50	45
18	0	-1.6	0	160	33.2	45
19	-1	-1	-1	140	40	30
20	1.6	0	0	193.6	50	45

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Modelo de ajuste

El efecto de los factores de estudio (Temperatura“ X_1 ”, rpm“ X_2 ” y tiempo“ X_3 ”) sobre las propiedades físicas, parámetros fisicoquímicos (humedad, pH, acidez total, grasa, contenido de fenoles) y microbiológicos (levaduras y hongos, mesófilos y coliformes) son ampliamente utilizadas para encontrar las condiciones óptimas durante el proceso de tostado. La metodología de superficie de respuesta fue aplicada de acuerdo a un diseño central compuesto. El efecto de los factores sobre las variables de repuestas se muestran en los Cuadros 2 al 5 y sus respectivos análisis de varianzas (ANOVA) donde se determinan los efectos del modelo en función de los términos lineales, de interacción y cuadráticos se adjuntan en el Anexo A.

El Cuadro 2 muestra los coeficientes de regresión obtenidos por regresión lineal múltiple para los polinomios de respuesta de segundo orden señalando aquellos que son significativos a $P < 0.05$. Además también en este cuadro se observa que efectos son positivos o negativos, lineales o no lineales. Estos polinomios son utilizados para generar las superficies de respuesta y de contornos que permiten evaluar los efectos de cada variable de respuesta.

Los resultados indicaron que los modelos para las respuestas fueron adecuado en función del valor del coeficiente de determinación R^2 cuando fue mayor al 70%, indicando que el modelo de regresión explicó satisfactoriamente los valores observados (Gutiérrez-Pulido y de la Vara-Salazar 2008; Montgomery 2001). Un modelo con escasez de ajuste es atribuido a que no se consideraron todas las variables independientes dentro de la función de forma apropiada. Sin embargo, cuando una gran cantidad de datos son incluidos en un estudio, un modelo con escasas de ajuste puede ser utilizado.

Cuadro 2. Coeficiente de regresión del polinomio de segundo orden para las variables de respuesta.

Coeficientes	β_0	β_1	β_2	β_3	β_{12}	β_{13}	β_{23}	β_{11}	β_{22}	β_{33}
Humedad	0.0230	- 0.0057	0.0003	- 0.0012	- 0.0003	- 0.0009	0.0004	- 0.0017	- 0.0004	0.0021
Acidez total	4.0320	0.1245	- 0.1512	- 0.4672	0.0325	- 0.1675	0.1525	0.0867	0.0920	0.0708
pH	4.80591	0.0159	- 0.0300	0.0011	0.0337	0.0262	- 0.0737	0.0577	0.0471	0.0577
Grasa	44.6731	0.9310	- 1.1342	- 0.8462	- 0.42	- 0.07	- 0.2825	1.0325	1.5310	1.5858
Contenido fenólico total	0.1558	- 0.0209	- 0.0397	- 0.0146	0.0025	-0.0208	0.0069	0.0018	0.0174	0.0059
Mesófilos aerobios	3200.39	- 808.78	- 512.564	- 411.03	1000.0	- 1000.0	- 625.0	251.038	-279.294	869.759
Levaduras y hongos	47.6537	- 0.4992	- 1.3479	0.8487	- 6.25	0.0	5.0	-10.727	- 2.7721	-1.0043

4.2 Cambios en las dimensiones físicas durante el tostado de cacao

Las dimensiones físicas durante el proceso de tostado se ven alteradas como función de la deshidratación acelerada que sufren las partículas. Aunque en el proceso de tostado se muestran incrementos en cuanto a volumen, lo contrario sucede en el secado de productos alimentarios. El incremento en las dimensiones físicas es función de la salida de compuestos volátiles que expanden el esqueleto de la partícula. En el caso del tostado de café en lecho fluidizado se han reportado incrementos de volumen entre 55.92-97.05%, en cambio para granos de cacao tostado no se han encontrado evidencias. El Cuadro 3 muestra los 20 tratamientos y el cero se refiere a cacao seco previo al tostado. Los rangos oscilaron para largo (19.58-21.50 mm), ancho (12.31-13.06) y espesor (7.52-8.52). En la mayoría de los tratamientos se registró un mayor diámetro geométrico con respecto al testigo. El Diámetro equivalente (D_g), la esfericidad y el área superficial presentaron cambios en todos los tratamientos con respecto al testigo, sin embargo de acuerdo al ANOVA no fueron significativos al $P < 0.05$. Los cambios que se presentaron en estas variables de respuestas son función de la formación de poros internos como función de la eliminación de los compuestos volátiles tal y como reporta Sánchez-Ramírez (2007) y Schenker *et al.* (2000). Los valores de esfericidad encontrados permiten con certeza establecer el alejamiento que tienen de una forma geométrica esférica y se debe considerar un factor de forma más adecuado para obtener áreas superficiales y volúmenes más adecuados. Los granos de cacao se podrían asemejar mejor a una elipsoide de revolución o esferoide. De estos el esferoide alargado es aquel parecido a la de un balón de fútbol americano, el cual tendría una mayor analogía con respecto a los granos de cacao tostados. Aplicando el factor de forma de un esferoide para el cálculo del área (Ecuación 4), con los datos obtenidos experimentalmente y comparar ambas áreas (Ecuación 3 y 4), se apreció que los valores se triplican entre uno y otro. Ello conlleva a que la consideración de la forma geométrica influye de forma determinante en los cálculos y que un error considerable existiría de no considerarse el factor de forma apropiadamente. Los cambios en las variables de respuestas de largo, ancho,

espesor, esfericidad y área (factor de forma) se muestran los gráficos de superficies y contornos mostrados en las Figuras 2 a-e.

Cuadro 3. Matriz de resultados de las dimensiones físicas de los granos de cacao tostado en tambor rotatorio.

Tratamientos (cacao Tostado)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (factor de forma de elipsoide)			
				Dg	Esfericidad	Área superficial	
Testigo	20.93	12.78	7.92	12.84	0.614	518.27	1510.36
1	20.93	12.59	8.35	13	0.621	531.29	1475.18
2	20.45	12.93	8.12	12.9	0.631	522.83	1525.09
3	20.88	12.62	8.07	12.86	0.616	519.29	1478.74
4	20.71	12.49	8.26	12.88	0.622	521.37	1451.05
5	20.76	12.65	7.68	12.63	0.609	501.53	1481.19
6	20.44	12.96	7.99	12.84	0.628	517.68	1530.60
7	21.32	13.06	7.89	13	0.61	530.92	1576.16
8	21	12.56	8.08	12.87	0.613	520.21	1472.13
9	20.99	12.36	7.77	12.64	0.602	501.54	1434.72
10	21.08	12.77	7.62	12.71	0.603	507.3	1513.56
11	19.93	12.4	8.45	12.78	0.642	513.32	1412.50
12	21.15	12.41	8.07	12.84	0.607	518.08	1447.99
13	19.58	12.85	7.94	12.59	0.643	498.14	1485.09
14	20.97	12.65	8.26	12.99	0.619	529.88	1486.90
15	20.44	12.31	8.52	12.89	0.631	522.34	1410.16
16	20.68	12.63	7.86	12.71	0.614	507.25	1475.50
17	19.62	12.7	8.11	12.64	0.644	502.27	1459.03
18	21.5	12.53	8.21	13.02	0.606	532.92	1479.44
19	20.03	12.95	7.85	12.68	0.633	504.76	1516.40
20	21.15	12.79	7.9	12.88	0.609	521.23	1518.80

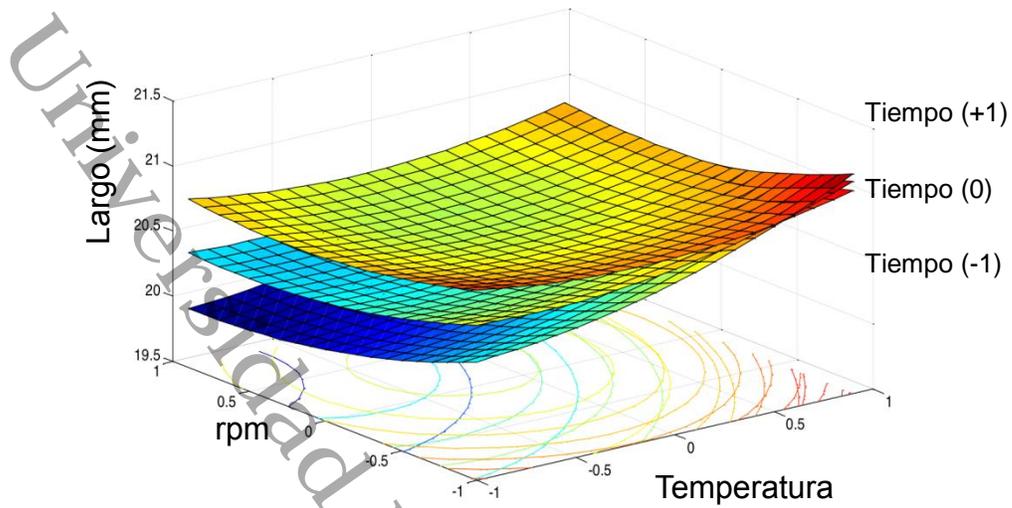


Figura 2 a. Superficie de respuesta y de contorno del largo promedio de un grano de cacao durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

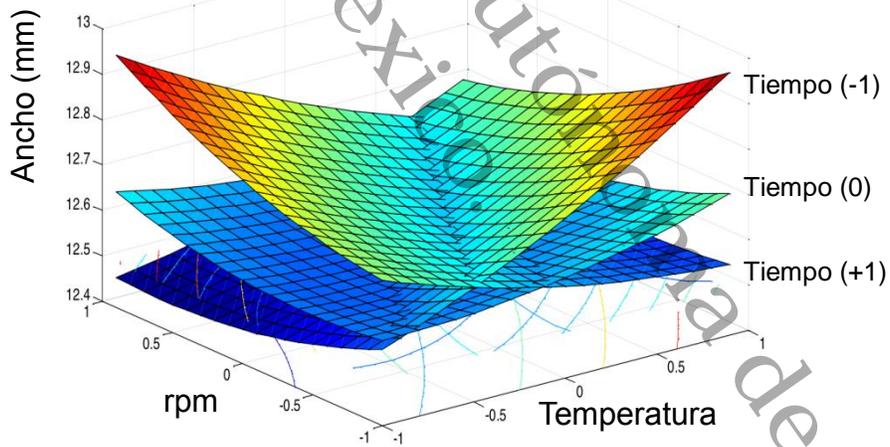


Figura 2 b. Superficie de respuesta y de contorno del ancho promedio de un grano de cacao durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

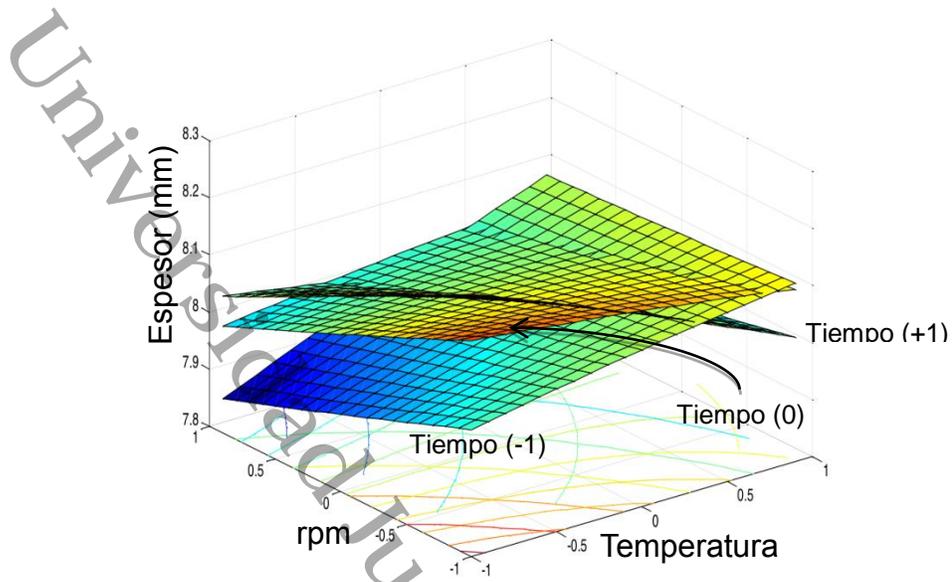


Figura 2 c. Superficie de respuesta y de contorno del espesor promedio de un grano de cacao durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

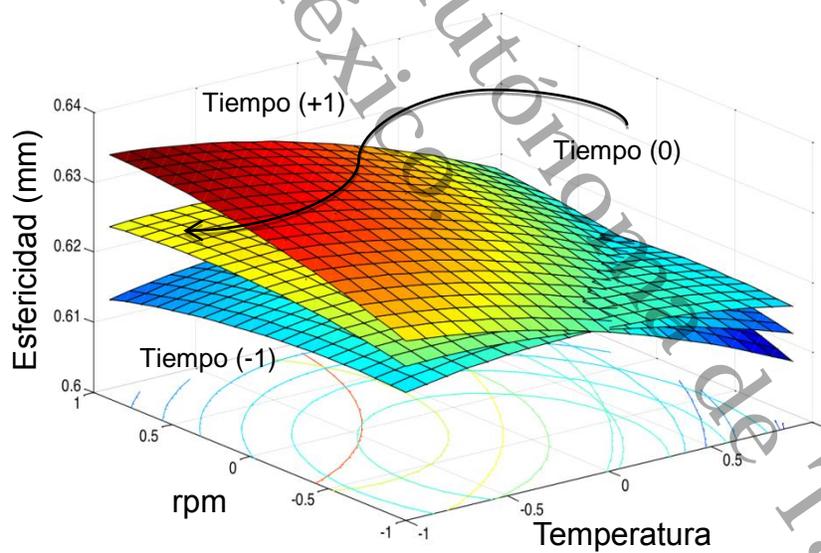


Figura 2 d. Superficie de respuesta y de contorno de la esfericidad promedio de un grano de cacao durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

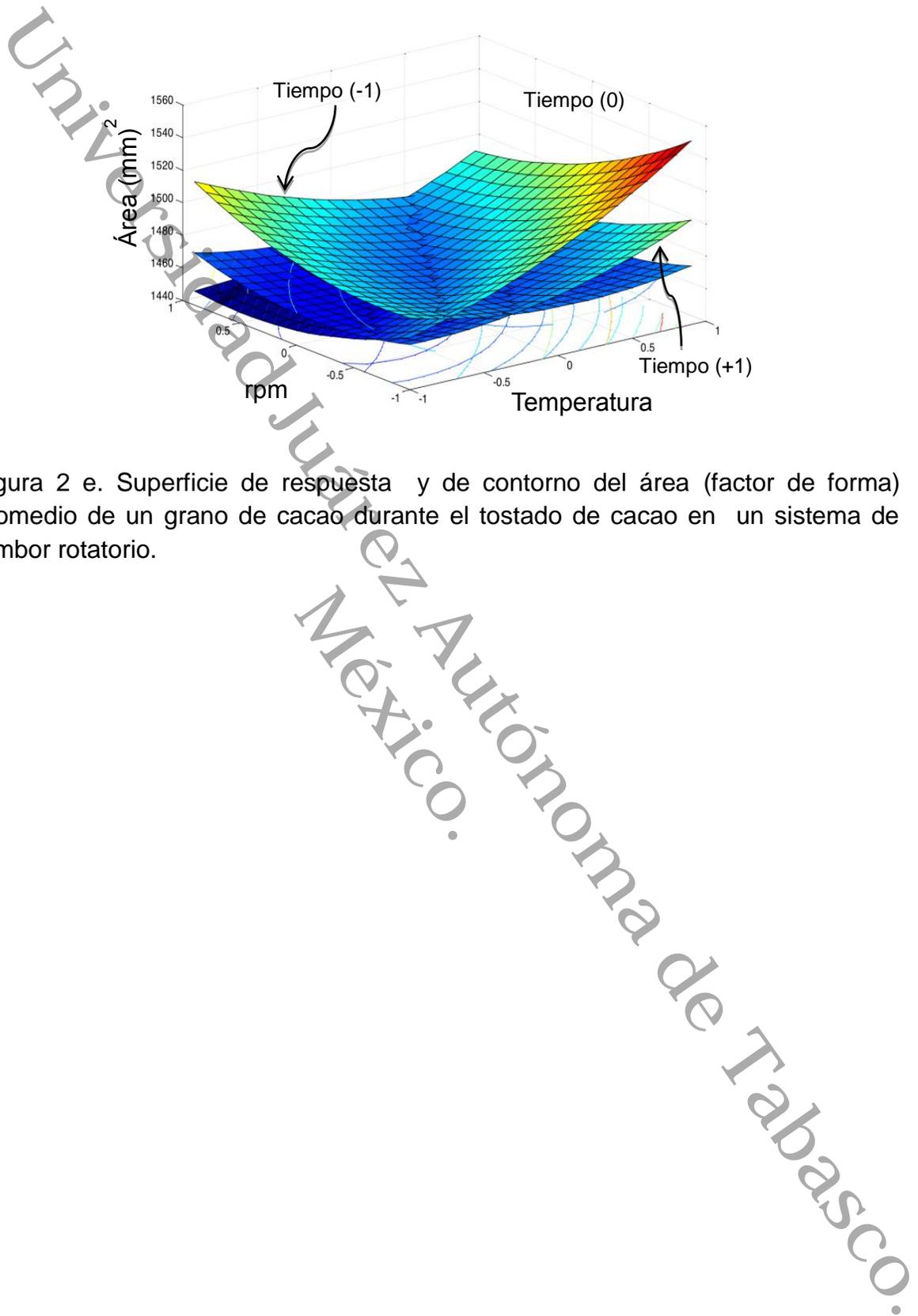


Figura 2 e. Superficie de respuesta y de contorno del área (factor de forma) promedio de un grano de cacao durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

4.3 Cambios en las variables fisicoquímicas durante el tostado de cacao

El contenido de humedad es el parámetro más evaluado durante el tostado y sobre el cual, las distintas variables dentro del proceso están condicionadas, debido que permite establecer un límite de seguridad biológica y de calidad (Zzaman y Yang, 2013). Por debajo de este límite no se puede disminuir debido a que se obtendría un grano quemado y todos los atributos de calidad se perderían.

En el presente estudio el contenido de humedad cambió en el orden de 0.0072 – 0.035 g agua/g m.s. durante los distintos tratamientos del diseño (Cuadro 4). En la mayoría de los tratamientos la humedad presentó un promedio de 0.02 g agua/g m.s., lo que representa poco más del 63% de humedad inicial eliminada. Una disminución apreciable mayor al 86% con respecto al tratamiento donde se presentó el mínimo de humedad (36%) donde hubo el máximo de humedad.

Los resultados de la ANOVA mostraron que la temperatura y el tiempo de tostado fueron los factores significativos ($P \leq 0.05$), no así las rpm, además, la prueba de bondad de ajuste mostró que el modelo seleccionado fue adecuado para describir los datos observados para el contenido de humedad. La humedad indicó un efecto lineal y no lineal negativo en los términos lineales y cuadráticos (b_1, b_{11}, b_2, b_{22}) significativos al $p \leq 0.05$ (Figura 1 a – 1 e). La superficie de respuesta de la humedad muestra la curvatura generada y los contornos, sin embargo no se observó la convergencia hacia un punto estacionario (un mínimo o máximo). El comportamiento es representado por una ecuación de segundo orden con un R^2 mayor a 91%.

Cuadro 4. Matriz de resultados de las variables fisicoquímicas de los granos de cacao durante el tostado en tambor rotatorio.

Tratamientos (cacao Tostado)	Humedad (gH ₂ O/g m.s.)	pH	Acidez Total (mL de NaOH 0.1N/g)	Grasa	Contenido de Fenoles totales (mg/ mL)
Testigo	0.0548	4.81	4.61	48.70%	0.1316
1	0.0190	4.75	4.57	48.29%	0.2081
2	0.0252	5.12	3.89	47.23%	0.1377
3	0.0183	4.84	4.60	47.07%	0.1588
4	0.0271	4.99	3.39	47.56%	0.2295
5	0.0240	4.62	4.34	45.23%	0.1639
6	0.0233	5.10	4.27	46.94%	0.1238
7	0.0162	4.94	3.39	48.64%	0.1588
8	0.0228	4.75	3.94	45.55%	0.1422
9	0.0296	4.65	3.90	46.89%	0.1979
10	0.0240	4.70	3.61	45.58%	0.2177
11	0.0218	4.94	4.52	43.83%	0.1293
12	0.0170	4.83	3.29	47.33%	0.0918
13	0.0267	4.86	3.80	47.39%	0.1360
14	0.0306	5.11	4.28	46.92%	0.1957
15	0.0218	4.85	3.98	43.13%	0.1215
16	0.0350	5.20	5.52	55.16%	0.2175
17	0.0238	4.91	3.64	44.02%	0.1590
18	0.0222	5.16	5.26	55.14%	0.2965
19	0.0262	4.81	4.64	45.89%	0.2407
20	0.0072	5.21	5.22	52.34%	0.1363

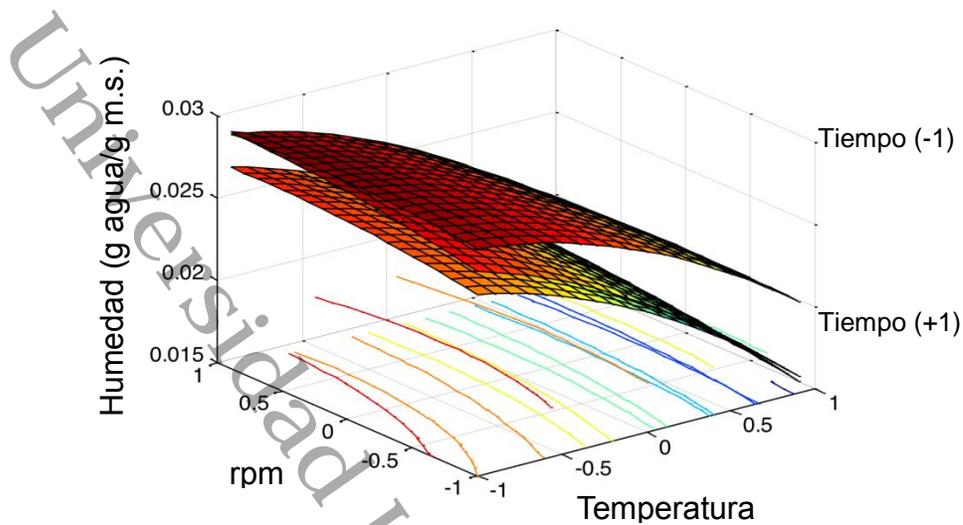


Figura 3. Superficie de respuesta y de contorno de la Humedad durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

En el tostado los compuestos volátiles, acidez total, pH y el contenido de grasa dependen de las condiciones de temperatura y tiempo de tostado, además el pH se encuentra altamente correlacionado con el sabor amargo y pH bajo es función de una intensidad alta de tostado (Krysiak 2006; Ramli *et al.*, 2006; Jinap *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2001).

El rango de pH encontrado fue de 4.61-5.20 y el de acidez total 3.28-5.52 mL de NaOH (0.1 N)/g, los cuales fueron cambios pequeños con respecto a los valores iniciales del cacao previo al tostado (Cuadro 3). Los resultados del ANOVA (Anexo A) mostraron que no hubo efectos significativos al $p < 0.05$ de la temperatura, rpm y tiempo de tostado para la variable pH y que el modelo represento un coeficiente de determinación muy pobre (por debajo del 70%). Los cambios en pH en superficie y contorno de respuesta se muestran en el Figura 2, donde se puede apreciar el cruzamiento entre los gráficos a distintos tiempo de tostado y una curvatura como efecto del modelo de segundo orden propuesto y de ello se deriva que exista puntos estacionarios que converjan hacia un mínimo a partir de este modelo.

En cuanto a acidez total el ANOVA indicó que solamente el tiempo de tostado tuvo un efecto significativo al $p < 0.05$, lo cual se puede observar claramente en la Figura 3, donde se muestra la superficie y contorno de respuesta. En esta figura se nota que a medida que se incrementa el tiempo de tostado la acidez tiende a disminuir y los contornos tienden hacia un punto de convergencia que indica un punto estacionario y de forma particular un mínimo.

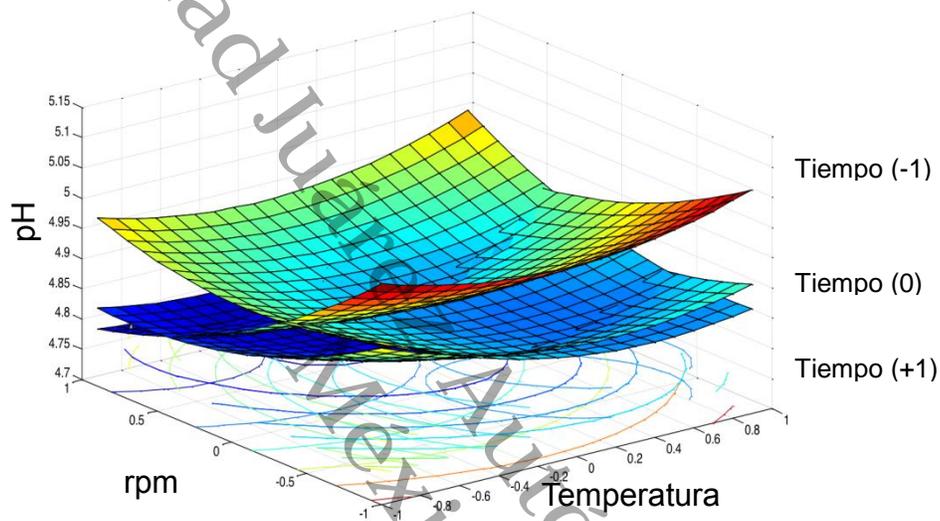


Figura 4. Superficie de respuesta y de contorno del pH durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio .

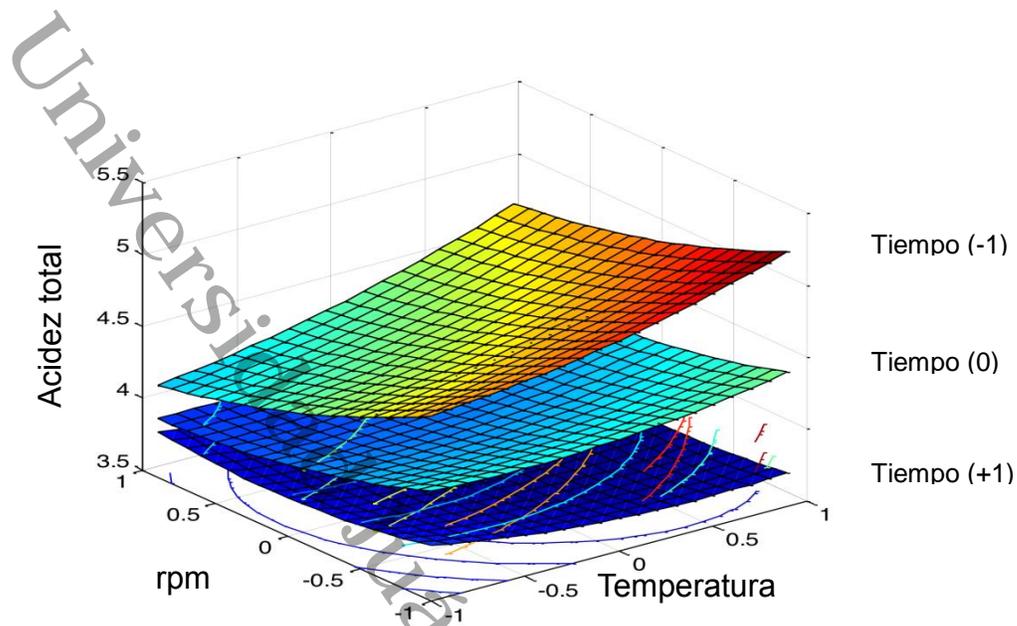


Figura 5. Superficie de respuesta y de contorno de la Acidez total durante el tostado de cacao en u sistema de tambor rotatorio.

El ANOVA del porcentaje de grasa indicó que existen efectos significativos al $p < 0.05$ de las rpm y tiempo de tostado del orden cuadrático sobre esta variable. Como se puede apreciar en el cuadro 3, el porcentaje de grasa varió en todos los tratamientos con respecto al valor inicial (48.70%) y dado que la grasa no es un compuesto volátil, ello indica que las modificaciones que se presentaron fueron a causa de las variables operaciones durante el tostado y que al nivel de significancia del diseño estadístico no se logró apreciar más adecuadamente los efectos. El rango de % grasa estuvo entre 43.13-55.16% lo que implica como los tratamientos afectaron la extracción de grasa. La Figura 4 muestra la superficie y contorno de respuesta de esta variable, la cual, permite apreciar una ligera curvatura y puntos estacionarios que indican una convergencia hacia un mínimo, esto en función del modelo de segundo orden, donde los efectos cuadráticos de las rpm y el tiempo de tostado fueron significativos. El comportamiento como función del tiempo indica un tipo de cresta descendente.

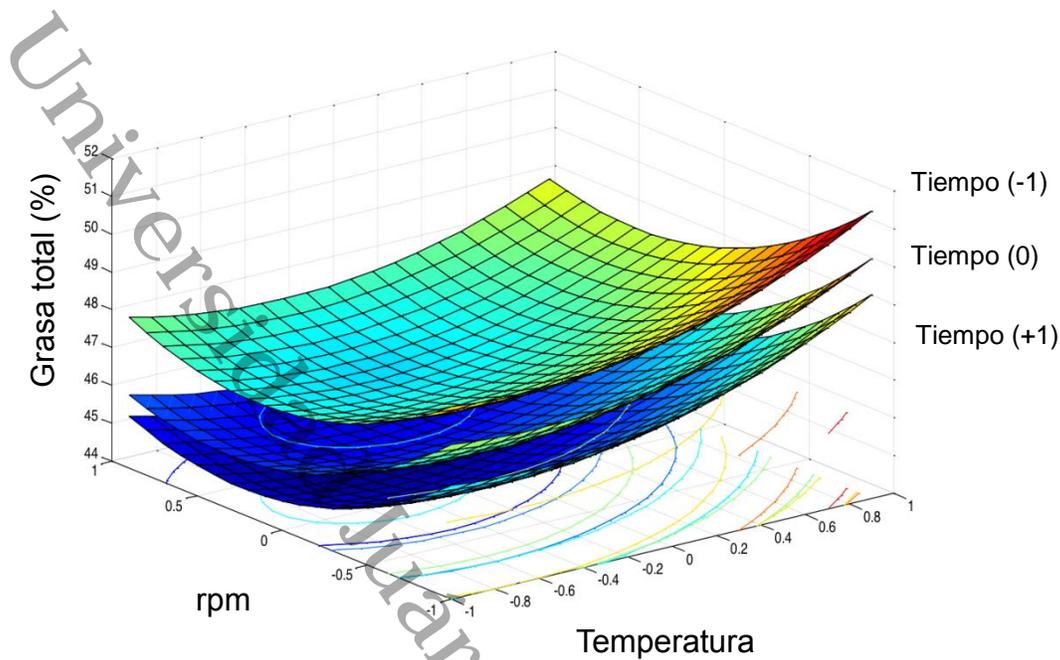


Figura 6. Superficie de respuesta y de contorno del % Grasa durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

El contenido de los compuestos fenólicos sufre modificaciones durante el proceso de tostado y estos compuestos son responsables del sabor amargo de los granos de cacao (Jinap *et al.* 1998; Lee *et al.*, 2001), por lo que diferentes condiciones de tostado modifican su contenido e influyen en los atributos de calidad sensorial.

En el presente estudio el contenido de fenoles totales (CFT) en medio acuoso vario de 0.0918-0.2965 mg EAG/ml (Cuadro 3). En todos los tratamientos se presentaron cambios con tendencia al incremento del CFT respecto al valor inicial.

El ANOVA aplicado para la respuesta del CFT permitió establecer que existen efectos de la temperatura y las rpm, además de efectos de interacción entre las variables del sistema de tostado a un $p < 0.05$. El modelo de regresión múltiple presentó un R^2 de 80.55 %, además la prueba de bondad de ajuste mostró que el modelo es adecuado al 95% de nivel de confianza. Un efecto lineal negativo y no

lineal positivo como consecuencia de la temperatura, la rpm y el tiempo de tostado sobre el CFT (Cuadro 2).

El gráfico de superficie y de contorno se muestra en la Figura 5, donde se aprecia una curvatura suave en las superficies, con tendencia a ser una cresta descendente en el tiempo. No se encontró la presencia de puntos estacionarios.

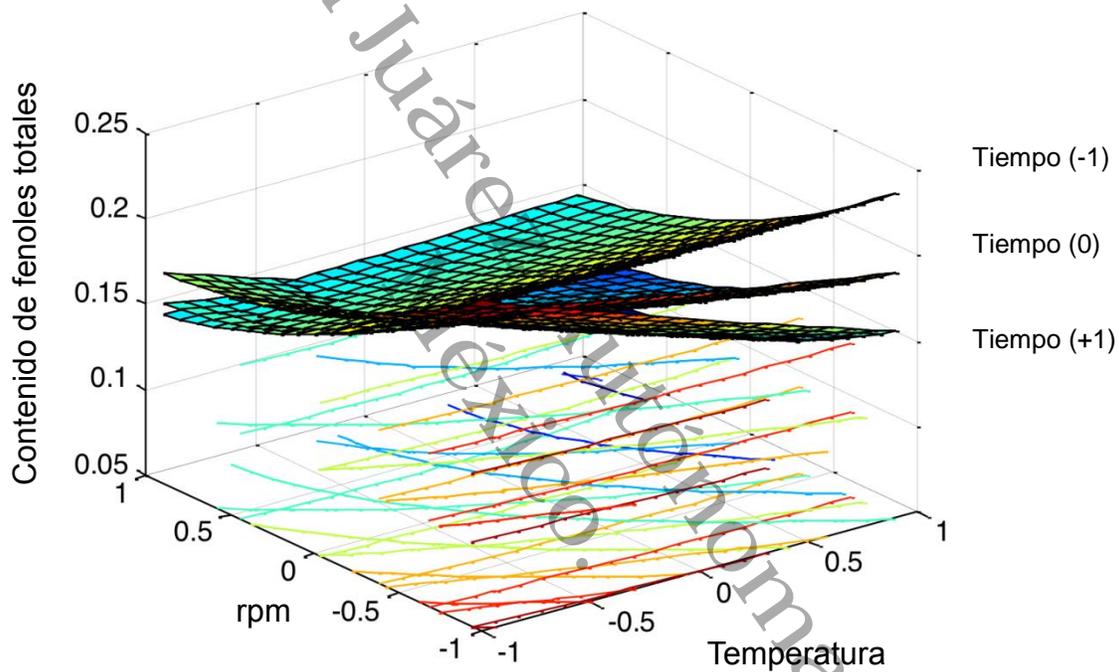


Figura 7. Superficie de respuesta y de contorno para los Fenoles totales en medio acuoso durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

4.4 Cambios en las variables microbiológicas durante el tostado de cacao

El Cuadro 5 muestra los resultados para los estudios microbiológicos realizados durante el tostado en tambor rotatorio antes y después de los tratamientos. En cuanto a bacterias coliformes totales, el tostado eliminó completamente su presencia en cualquier condición utilizada durante el tostado. En levaduras y hongos, se presentó una reducción de un orden de magnitud después del tostado, con una presencia máxima de 50 ufcg^{-1} , lo que lo ubica en el límite de la NOM-186-SSA1/SCFI-2002. En cuanto a las bacterias mesófilas aerobias, se presentó una reducción de dos órdenes de magnitud con respecto al valor inicial en todos los tratamientos con excepción del tratamiento 16 (160°C , 50 rpm y 19.8 min). Lo anterior implica el efecto que tiene el tiempo de tostado sobre la presencia de mesófilos, por lo que exista una reducción más apreciable se requiere tiempos de exposición mayores a 20 minutos.

El ANOVA de levaduras y hongos mostró un efecto significativo al $p < 0.05$ de la temperatura y de la interacción temperatura-rpm, rpm-tiempo de tostado. En cuanto a mesófilos, el ANOVA no indicó un efecto de los factores a $p < 0.05$, sin embargo, el orden de magnitud en las ufc g^{-1} en función a la determinación son aspectos que influyen en el análisis estadístico.

Un efecto lineal negativo y no lineal negativo se presentó tanto en levaduras y hongos como en mesófilos. Las Figuras 6 y 7 muestran las superficies y los contornos de respuesta. El comportamiento en levaduras y hongos (Figura 6) indicó que las figuras se entrecruzan como función del tiempo de tostado, con la presencia de una cresta creciente. En los mesófilos (Figura 7), la superficie generada presentó una curvatura suave, denotando la presencia de máximos y mínimos.

Cuadro 5. Matriz de resultados de las variables microbiológicas de los granos de cacao durante el tostado en tambor rotatorio.

Tratamientos (Cacao Tostado)	Microbiología		
	Mesofilos Aerobios ufc g ⁻¹	Levaduras y Hongos ufc g ⁻¹	Coliformes Totales ufc g ⁻¹
Testigo	1.06x10 ⁵	225	5
1	3x10 ³	45	0
2	2.5x10 ³	45	0
3	3x10 ³	15	0
4	9.5x10 ³	25	0
5	3x10 ³	50	0
6	3x10 ³	40	0
7	2.5x10 ³	35	0
8	2.5x10 ³	45	0
9	3x10 ³	40	0
10	3x10 ³	45	0
11	3x10 ³	50	0
12	3x10 ³	35	0
13	2x10 ³	30	0
14	6x10 ³	25	0
15	3.5x10 ³	45	0
16	10x10 ⁴	50	0
17	4x10 ³	50	0
18	3x10 ³	45	0
19	3x10 ³	25	0
20	3x10 ³	15	0

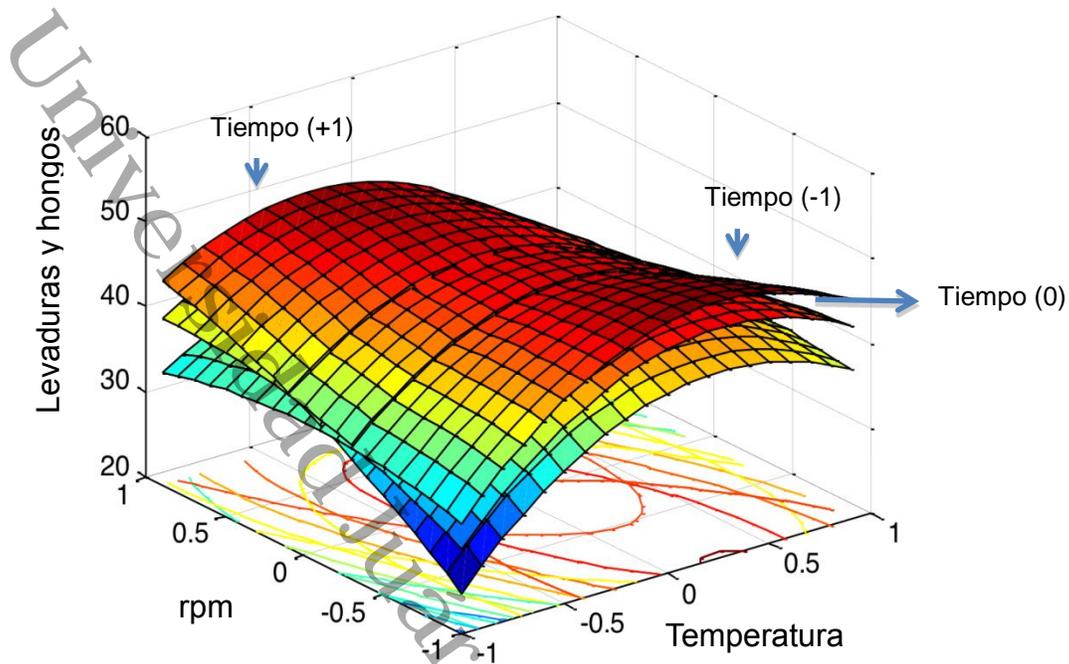


Figura 8. Superficie de respuesta y de contorno para Mohos y Levaduras durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

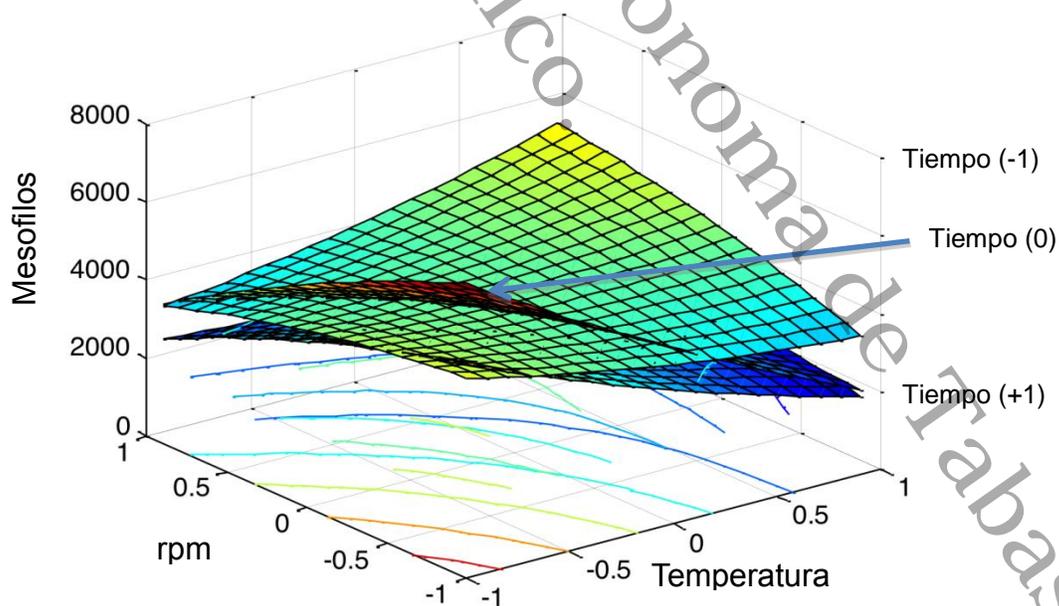


Figura 9. Superficie de respuesta y de contorno para la Cuenta Total de Bacterias Mesófilas durante el tostado de cacao en un sistema de tambor rotatorio.

4.5 Optimización de respuestas múltiples

En el anterior apartado se evaluó el efecto de los factores sobre doce respuestas durante el tostado en un sistema tradicional rotatorio, lo que conlleva a un problema de optimización. El objetivo de la optimización es encontrar la mejor selección de las variables independientes de acuerdo a algún criterio definido, independiente de la multiplicidad de las soluciones potenciales. La elección de este criterio es fundamental.

La consideración simultánea de respuesta múltiples requiere construir primero un modelo de superficie de respuesta e intentar encontrar un conjunto de condiciones de operación que optimice todas las respuestas o bien que al menos las mantenga en los rangos deseados. Un análisis relativamente sencillo es la superposición de las gráficas de contorno de cada respuesta, sin embargo cuando hay más de tres variables del diseño es muy complicado, ya que la gráfica de contorno es bidimensional.

Un método consiste en formular y resolver el problema con un problema de optimización restringida, es decir formular de la siguiente manera:

Maximizar o minimizar: % acidez y/o Contenido de fenoles totales

Sujeto a:

$$0.015 \leq \text{Humedad} \leq 0.022$$

$$5.0 \leq \text{pH} \leq 5.5$$

Se cuenta con varios métodos para la aplicación de la optimización, pero para el caso particular el software Stargraphics Plus 5.1 utilizado en este trabajo emplea el método de conveniencias. Durante el proceso se pueden utilizar de forma simultánea el condicionamiento de las respuestas como mínimos o máximos mostrado en el cuadro 6, bien sea en los niveles de estudio o proponer otras con los argumentos adecuados.

Cuadro 6. Valores observados experimentales de acuerdo al diseño factorial central rotatable.

Variable de Respuesta	Mínimo	Máximo
Acidez total	3.29	5.52
Espesor	7.62	8.52
Levaduras y hongos	15.0	50.0
% Grasa	43.13	55.16
Mesófilos aerobios	2000.0	10000.0
Contenido de fenoles totales	0.0918	0.2965
Humedad	0.0072	0.035
pH	4.62	5.21

Para los fines del presente trabajo se condicionó minimizar la acidez total, levaduras y hongos, mesófilos aerobios y contenido de fenoles totales, como también se condicionó maximizar el espesor, el % de grasa, pH y la humedad por la función de conveniencia para la optimización.

Las condiciones de las variables independientes (X_1 , X_2 , y X_3) que se encuentran en el Cuadro 7, permite optimizar las variables de respuesta en función de las condiciones establecidas.

Cuadro 7. Factores y los valores óptimos encontrados.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (X_1)	-1.68179	1.68179	0.372443
Rpm (X_2)	-1.68179	1.68179	-1.67148
Tiempo (X_3)	-1.68179	1.68179	1.68179

Cuadro 8. Valor de las variables de respuesta en función a las óptimas encontradas.

Variable de Respuesta	Óptimo
Acidez total	3.46107
Espesor	8.07318
Levaduras y hongos	28.91
% grasa	55.4105
Mesófilos aerobios	5287.21
Contenido de fenoles totales	0.221713
Humedad	0.0214576
pH	5.36996

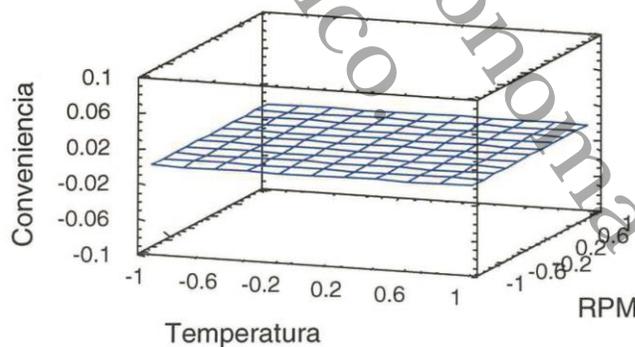


Figura 10. Superficie de respuesta de la función de conveniencia para las variables a optimizar sobre el tostado de grano de cacao.

5. CONCLUSIONES

La metodología de superficie de respuesta permitió evaluar el efecto de la temperatura, rpm y tiempo sobre cada una de las variables de respuesta (acidez total, contenido de fenoles totales, espesor, humedad, levaduras y hongos, % de grasa, mesófilos aerobios y pH) de forma adecuada.

El modelo propuesto de segundo orden fue significativo ($p \leq 0.05$) para las variables humedad, grasa, CFT y las variables microbiológicas. Aunque las otras respuestas evaluadas no mostraron un efecto de los factores, la prueba de bondad de ajuste mostró que un modelo no lineal es adecuado para representar cada una de las respuestas evaluadas.

Los valores óptimos de acuerdo a una función de conveniencia para la temperatura, rpm y tiempo como variables independientes, para el tostado de cacao en un sistema tradicional rotatorio fueron en variables codificadas de 0.3744, -1.67 y 1.68 y su equivalente en variables naturales es 159.5908°C, 34.6832 rpm y 73.7885 minutos.

Los valores de las variables de respuestas permiten predecir una disminución favorable en la acidez total, además de un incremento en % de grasa y espesor de grano sujeto a condiciones de humedad y pH. Las demás variables se maximizaron y minimizaron quedando dentro de intervalos aceptables.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez C., Pérez E. y Lares M. (2007). Caracterización física y química de almendras de cacao fermentadas, secas y tostadas, cultivadas en la región de Cuyagua, Estado de Aragua. *Agronomía Tropical* 57(4) 294-256.
- ASERCA. 1994. Cacao y algodón. Revista Claridades Agropecuarias 16: 1-32 (Fecha_de_consulta_27_de_Abril_2013) en www.infoaserca.gob.mx/claridades/revistas/016/ca016.pdf
- Beckett, S. T. (1994). Fabricación y utilización Industrial del Chocolate. Ed. Acribia. Zaragoza, España. 18-19,41-45
- Beckett, S. T. (2002). La ciencia del Chocolate. Ed. Acribia. Zaragoza, España. Pp. 1-17,43-45.
- Braudeau, J. (1974). "El Cacao". Editorial Blume, Barcelona.
- Cacao México. s/a. Cacao en México. (Fecha de consulta 28 de Abril 2013) en: www.cacaomexico.org/?page_id=1051
- Cros E. y Jeanjean N. (1995) Cocoa quality: effect of fermentation and drying. *Plantations, Recherche, Developpement*, 24: 25-27.
- Brito E., Pezoa N., Amancio A., Valente A., Pini G. y Augusto F. (2001). Effect of autoclaving cocoa nibs before roasting on the precursors of the Maillard reaction and pyrazinas. *Journal of Food Science and Technology*. 36. 625-630.
- Feyissa, A. H., Adler-Nissen, J. y Gernaey, K. V. (2009). Model of Heat and Mass Transfer with Moving Boundary during Roasting of Meat in convection-Oven. Proceedings of the COMSOL, Milan. 153-161.
- Financiera Rural. 2009. Monografía del cacao. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. Fecha de consulta 27 de Abril 2013 en:

[www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADas%20Anteriores/Monograf%C3%ADaCacao\(ago2009\)LC.pdf](http://www.financiararural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADas%20Anteriores/Monograf%C3%ADaCacao(ago2009)LC.pdf)

- Garcia-Alamilla, P., González-Lauck, V.W., De la Cruz-Lázaro, E., Lagunes-Gálvez, L.M. y Garcia-Alamilla, R., (2012). Description and physical properties of Mexican criollo cacao during post-harvest processing. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 13(1), 58-65
- Gutiérrez-Pulido, H. y de la Vara-Salazar, R.N. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*, Mc Graw Hill Interamericana, México, 545 p.
- Jinap, S., Rosli W., Russly A. y Nordin L. (1998). Effect of Roasting Time and Temperature on Volatile component profiles during Nib Roasting of cocoa Beans (*Theobroma cacao L.*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 77, 441-448.
- Jinap, S., Thien, J.M y Yap, T.N. (1994). Effect of Drying on Acidity and Volatile Fatty Acids Content of Cocoa Beans. *Journal Science and Food Agriculture*, 65, 67 –75.
- Krysiak W. (2006). Influence of roasting conditions on coloration of roasted cocoa beans. *Journal of Food Engineering* 77, 449-453.
- Lee, S., Yoo S., Lee M., Kwon I. y Pyun Y. (2001). Optimization of Nibs Roasting in Cocoa Bean Processing with Lotte-Better Taste and Color Process. *Food Science and Biotechnology*, 10, 286-293.
- Luna, F., Crouzillat D., Cirou L. y Bucheli P. (2002). Chemical Composition and Flavor of Ecuadorian Cocoa Liquor. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50, 3527-3532.
- Montgomery DC. (2001). *Design and analysis of experiments*. Wiley, New York, 686 p.

- NMX-F-089-S-1978. Determinación de extracto etéreo (método Soxhlet) en alimentos. Food stuff-determination of ether extract (soxhlet). Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- NMX-FF-103-SCFI.2003. Productos agrícolas no industrializados-cacao en grano (*Theobroma cacao* L.)-especificaciones y métodos de prueba.
- NMX-111-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos.
- NMX-113-SSA1-1994. Bienes y Servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placas.
- NMX-186-SSA1/SCFI-2002. Productos y Servicios. Cacao, Productos y Derivados. Especificaciones sanitarias. Denominación comercial.
- NMX-F-253-1977. Cuenta de bacterias mesofílicas aerobias. Method for aerobic mesophylic bacteria count. Normas mexicanas. Dirección general de normas.
- Othman A., Ismail A., Abdul N.G., Adenan I. (2007). Antioxidant capacity and phenolic content of cocoa beans. *Food Chemistry*, 100, 1523-1530.
- Pontillon, J. (1999). Coordonateur "Cacao et chocolat. production, utilisation, caractéristiques. Collection sciences & techniques agroalimentaires", (Technique & Documentation Lavoisier). Paris cedex 08, France.
- Ramli, N., Hassan, O., Said, M., Samsudin, W. y Idris, N.A. (2006). Influence of roasting conditions on volatile flavor of roasted malaysian cocoa beans. *Journal of Food Processing and Preservation* 30, 280-298.
- J. Sánchez-Ramírez, I. Anaya-Sosa, M. G. Vizcarra-Mendoza, G. Gutiérrez-López y T. Santiago-Pineda. (2007). "Estudio de la hidrodinámica del café tostado (*Coffea arabica* L.) en lecho fluidizado", *AMIDIQ* Vol. 6, No.2 (2007) 185-192

- Schenker, S., Handschin, S., Frey, B., Perren, R., Escher, F. (2000) Pore Structure of coffee beans affected by roasting conditions. *Journal of Food Science*. 65(3), 452-457.
- Schwan, R. F. Rose, A. H. y Board, R. G. (1995). Microbial Fermentation of Cocoa Beans, With Emphasis on Enzymatic Degradation of the Pulp. *Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement* 79, 965 – 1075.
- Schwartzberg, H. G. (2002). Modeling Bean Heating during Batch Roasting of Coffee Beans. In J. Welte-Chanes, G. Barbosa-Canovas, & J.M. Aguilera (Eds). *Engineering and Food for the 21st century*. London, New York, Boca Raton: CRC Press LLC.
- Senanayake, M., Jansz, E.R. y Buckle, A. K. (1997). Effect of different Mixing Intervals on the Fermentation of Cocoa Beans. *Journal Science of Food and Agriculture*, 74, pp. 42-48
- Stobinska H., Kriśiak W., Nebesny E. y Kozanecka E. (2006) Effects of convective roasting conditions on microbiological safety of cocoa beans. *Acta Agrophisica*. 7(1) 239-248.
- Varnam A. y Sutherland J. (1997). *Bebidas. Tecnología, química y microbiología. Alimentos básicos. Vol.II*. Editorial Acribia. Zaragoza, España. Pp. 295-300.
- Wood, G.A.R. y Lass R.A. (1985). *Cocoa*. 4th Edition. Reprinted 2001. Tropical Agriculture Series.
- Zzaman, W. y Yang, A.T. (2013). Moisture, Color y Texture Changes in Cocoa Seeds during Superheated Steam Roasting. *Journal of Applied Sciences Research*, 9(1), 1-7.

7. ANEXOS

ANEXO A. Análisis de varianza de las variables de respuestas

Largo

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0.784275	1	0.784275	2.24	0.1949
B:RPM	0.345659	1	0.345659	0.99	0.3662
C:TIEMPO	0.408928	1	0.408928	1.17	0.3294
AA	0.406208	1	0.406208	1.16	0.3308
AB	0.0003125	1	0.0003125	0.00	0.9773
AC	0.255612	1	0.255612	0.73	0.4321
BB	0.266824	1	0.266824	0.76	0.4228
BC	0.0465125	1	0.0465125	0.13	0.7305
CC	0.000730527	1	0.000730527	0.00	0.9653
Falta de ajuste	1.33827	5	0.267653	0.76	0.6126
Error Puro	1.75208	5	0.350417		
Total (corr.)	5.56289	19			

R-cuadrado = 44.4471 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0.0 por ciento

Error Estándar de Est. = 0.59196

Error absoluto de la media = 0.344431

Estadístico Durbin-Watson = 2.8204 (P=0.0220)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.484836

Espesor

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0.000151221	1	0.000151221	0.00	0.9751
B:RPM	0.055422	1	0.055422	0.39	0.5576
C:TIEMPO	0.00345646	1	0.00345646	0.02	0.8815
AA	0.000396894	1	0.000396894	0.00	0.9597
AB	0.01125	1	0.01125	0.08	0.7886
AC	0.06125	1	0.06125	0.44	0.5384
BB	0.0000479023	1	0.0000479023	0.00	0.9860
BC	0.0018	1	0.0018	0.01	0.9143
CC	0.0198014	1	0.0198014	0.14	0.7228
Falta de ajuste	0.278432	5	0.0556864	0.40	0.8338
Error Puro	0.702933	5	0.140587		
Total (corr.)	1.135	19			

R-cuadrado = 13.5361 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0.0 por ciento

Error Estándar de Est. = 0.374949

Error absoluto de la media = 0.166729

Estadístico Durbin-Watson = 1.67741 (P=0.2148)

Autocorrelación residual Lag 1 = 0.120956

Esfericidad

Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0.000288946	1	0.000288946	0.93	0.3800
B:RPM	0.0000264319	1	0.0000264319	0.08	0.7826
C:TIEMPO	0.000137982	1	0.000137982	0.44	0.5354
AA	0.000133539	1	0.000133539	0.43	0.5418
AB	5.E-7	1	5.E-7	0.00	0.9696
AC	0.000128	1	0.000128	0.41	0.5500
BB	0.0000566921	1	0.0000566921	0.18	0.6876
BC	0.000098	1	0.000098	0.31	0.5993
CC	2.17535E-8	1	2.17535E-8	0.00	0.9937
Falta de ajuste	0.00107415	5	0.00021483	0.69	0.6537
Error Puro	0.00155933	5	0.000311867		
Total (corr.)	0.00349055	19			

R-cuadrado = 24.5539 por ciento
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0.0 por ciento
Error Estándar de Est. = 0.0176597
Error absoluto de la media = 0.0100468
Estadístico Durbin-Watson = 2.62868 (P=0.0637)
Autocorrelación residual Lag 1 = -0.347092

FM

Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	1528.06	1	1528.06	0.93	0.3783
B:RPM	544.204	1	544.204	0.33	0.5892
C:TIEMPO	105.234	1	105.234	0.06	0.8099
AA	1783.73	1	1783.73	1.09	0.3444
AB	740.548	1	740.548	0.45	0.5310
AC	4322.18	1	4322.18	2.64	0.1651
BB	2038.23	1	2038.23	1.25	0.3152
BC	1703.82	1	1703.82	1.04	0.3544
CC	1505.83	1	1505.83	0.92	0.3815
Falta de ajuste	10141.2	5	2028.23	1.24	0.4099
Error Puro	8184.27	5	1636.85		
Total (corr.)	31720.1	19			

R-cuadrado = 42.2277 por ciento
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0.0 por ciento
Error Estándar de Est. = 40.458
Error absoluto de la media = 25.0061
Estadístico Durbin-Watson = 1.8985 (P=0.3902)
Autocorrelación residual Lag 1 = 0.0473995

Humedad.

Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0.000450691	1	0.000450691	83.49	0.0000
B:RPM	0.00000179413	1	0.00000179413	0.33	0.5770
C:Tiempo	0.0000206212	1	0.0000206212	3.82	0.0792
AA	0.000045097	1	0.000045097	8.35	0.0161
AB	0.00000105125	1	0.00000105125	0.19	0.6684
AC	0.00000780125	1	0.00000780125	1.45	0.2570
BB	0.00000239656	1	0.00000239656	0.44	0.5203
BC	0.00000153125	1	0.00000153125	0.28	0.6060
CC	0.00006917	1	0.00006917	12.81	0.0050
Error Total	0.0000539838	10	0.00000539838		
Total (corr.)			0.000666998	19	

R-cuadrado = 91.9064 por ciento
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 84.6222 por ciento
 Error Estándar de Est. = 0.00232344
 Error absoluto de la media = 0.0013656
 Estadístico Durbin-Watson = 2.4612 (P=0.1319)
 Autocorrelación residual Lag 1 = -0.253619

Humedad excluyendo los parámetros no significativos.

Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0.000450691	1	0.000450691	98.61	0.0000
C:TIEMPO	0.0000206212	1	0.0000206212	4.51	0.0507
AA	0.0000434848	1	0.0000434848	9.51	0.0076
CC	0.0000724649	1	0.0000724649	15.85	0.0012
Error Total	0.0000685583	15	0.00000457055		
Total (corr.)			0.000666998	19	

R-cuadrado = 89.7214 por ciento
 R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 86.9804 por ciento
 Error Estándar de Est. = 0.00213788
 Error absoluto de la media = 0.00139484
 Estadístico Durbin-Watson = 2.2572 (P=0.3054)
 Autocorrelación residual Lag 1 = -0.136358

Acidez total.

Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0.211835	1	0.211835	1.58	0.2647
B:RPM	0.312233	1	0.312233	2.32	0.1878
C:TIEMPO	2.98175	1	2.98175	22.20	0.0053
AA	0.108456	1	0.108456	0.81	0.4100
AB	0.00845	1	0.00845	0.06	0.8119
AC	0.22445	1	0.22445	1.67	0.2526
BB	0.122122	1	0.122122	0.91	0.3841
BC	0.18605	1	0.18605	1.39	0.2922
CC	0.0723231	1	0.0723231	0.54	0.4960
Falta de ajuste	2.94418	5	0.588835	4.38	0.0653
Error Puro	0.67155	5	0.13431		
Total (corr.)	7.79418	19			

R-cuadrado = 53.6099 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 11.8588 por ciento

Error Estándar de Est. = 0.366483

Error absoluto de la media = 0.370538

Estadístico Durbin-Watson = 2.57491 (P=0.0820)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.437957

pH.

Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0.00348559	1	0.00348559	0.08	0.7881
B:RPM	0.0123634	1	0.0123634	0.27	0.6143
C:TIEMPO	0.000017494	1	0.000017494	0.00	0.9848
AA	0.0480892	1	0.0480892	1.05	0.3292
AB	0.0091125	1	0.0091125	0.20	0.6648
AC	0.0055125	1	0.0055125	0.12	0.7356
BB	0.0320508	1	0.0320508	0.70	0.4220
BC	0.0435125	1	0.0435125	0.95	0.3523
CC	0.0480892	1	0.0480892	1.05	0.3292
Error Total	0.457134	10	0.0457134		
Total (corr.)	0.63842	19			

R-cuadrado = 28.396 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 0.0 por ciento

Error Estándar de Est. = 0.213807

Error absoluto de la media = 0.142651

Estadístico Durbin-Watson = 2.28208 (P=0.2433)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.209475

Grasa.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	11.8387	1	11.8387	1.31	0.2791
B:RPM	17.5708	1	17.5708	1.94	0.1934
C:TIEMPO	9.77934	1	9.77934	1.08	0.3227
AA	15.3636	1	15.3636	1.70	0.2215
AB	1.4112	1	1.4112	0.16	0.7010
AC	0.0392	1	0.0392	0.00	0.9488
BB	33.7804	1	33.7804	3.74	0.0820
BC	0.63845	1	0.63845	0.07	0.7958
CC	36.242	1	36.242	4.01	0.0731
Error Total	90.3725	10	9.03725		
Total (corr.)	203.628	19			

R-cuadrado = 55.6189 por ciento
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 15.6758 por ciento
Error Estándar de Est. = 3.0062
Error absoluto de la media = 1.63217
Estadístico Durbin-Watson = 2.54226 (P=0.0947)
Autocorrelación residual Lag 1 = -0.400875

Cuenta total (mesofilos).

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	8.93327E6	1	8.93327E6	2.04	0.1840
B:RPM	3.58795E6	1	3.58795E6	0.82	0.3870
C:TIEMPO	2.30731E6	1	2.30731E6	0.53	0.4849
AA	908196.0	1	908196.0	0.21	0.6588
AB	8.E6	1	8.E6	1.82	0.2066
AC	8.E6	1	8.E6	1.82	0.2066
BB	1.12415E6	1	1.12415E6	0.26	0.6237
BC	3.125E6	1	3.125E6	0.71	0.4184
CC	1.09018E7	1	1.09018E7	2.49	0.1460
Error Total	4.38626E7	10	4.38626E6		
Total (corr.)	9.12375E7	19			

R-cuadrado = 51.9248 por ciento
R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 8.65718 por ciento
Error Estándar de Est. = 2094.34
Error absoluto de la media = 1115.69
Estadístico Durbin-Watson = 1.83313 (P=0.3339)
Autocorrelación residual Lag 1 = 0.0779086

Mohos y levaduras.

Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	3.4037	1	3.4037	0.13	0.7308
B:RPM	24.8146	1	24.8146	0.91	0.3618
C:TIEMPO	9.83774	1	9.83774	0.36	0.5608
AA	1658.31	1	1658.31	61.01	0.0000
AB	312.5	1	312.5	11.50	0.0069
AC	0.0	1	0.0	0.00	1.0000
BB	110.747	1	110.747	4.07	0.0711
BC	200.0	1	200.0	7.36	0.0218
CC	14.5374	1	14.5374	0.53	0.4813
Error Total	271.79	10	27.179		
Total (corr.)	2523.75	19			

R-cuadrado = 89.2307 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 79.5383 por ciento

Error Estándar de Est. = 5.21335

Error absoluto de la media = 3.09775

Estadístico Durbin-Watson = 2.12258 (P=0.3718)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.0659445

Fenoles totales.

Fuente	Suma de Cuadrados	G1	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0.00601027	1	0.00601027	6.37	0.0302
B:RPM	0.0215934	1	0.0215934	22.87	0.0007
C:TIEMPO	0.00292328	1	0.00292328	3.10	0.1089
AA	0.0000495027	1	0.0000495027	0.05	0.8235
AB	0.00005	1	0.00005	0.05	0.8226
AC	0.00348613	1	0.00348613	3.69	0.0836
BB	0.0043947	1	0.0043947	4.66	0.0563
BC	0.000383645	1	0.000383645	0.41	0.5381
CC	0.000510984	1	0.000510984	0.54	0.4788
Error Total	0.00944006	10	0.000944006		
Total (corr.)	0.0485418	19			

R-cuadrado = 80.5527 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 63.0502 por ciento

Error Estándar de Est. = 0.0307247

Error absoluto de la media = 0.0163924

Estadístico Durbin-Watson = 2.13884 (P=0.3577)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.128662

Fenoles totales excluyendo los parámetros no significativos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temperatura	0.00601027	1	0.00601027	8.08	0.0130
B:RPM	0.0215934	1	0.0215934	29.05	0.0001
C:TIEMPO	0.00292328	1	0.00292328	3.93	0.0673
AC	0.00348613	1	0.00348613	4.69	0.0481
BB	0.00412081	1	0.00412081	5.54	0.0337
Error Total	0.0104079	14	0.00074342		
Total (corr.)	0.0485418	19			

R-cuadrado = 78.5589 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 70.9014 por ciento

Error Estándar de Est. = 0.0272657

Error absoluto de la media = 0.0175384

Estadístico Durbin-Watson = 2.3692 (P=0.2132)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.218467

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
México.

ANEXO B. Equipo de Tostado “Sistema de Tambor Rotatorio”



Sistema de Tostado

ANEXO C. Acervo fotográfico del desarrollo experimental





Pruebas Microbiologicas

Estudio del efecto de temperatura, RPM y tiempo de tostado de cacao (theobroma cacao L.) sobre sus características fisicoquímicas y microbiológicas en un sistema tradicional.

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	www.infoaserca.gob.mx Internet	228 palabras — 3%
2	diagnosticomercados-2206-2012-2.wikispaces.com Internet	205 palabras — 2%
3	vsip.info Internet	186 palabras — 2%
4	www.coursehero.com Internet	98 palabras — 1%
5	archivos.ujat.mx Internet	83 palabras — 1%
6	docplayer.es Internet	81 palabras — 1%
7	documents.mx Internet	75 palabras — 1%
8	ve.scielo.org Internet	59 palabras — 1%

9	Internet	52 palabras — 1%
10	exploredoc.com Internet	40 palabras — < 1%
11	www.slideshare.net Internet	40 palabras — < 1%
12	revistas.ubiobio.cl Internet	38 palabras — < 1%
13	pcientificas.ujat.mx Internet	37 palabras — < 1%
14	vdocuments.mx Internet	29 palabras — < 1%
15	hdl.handle.net Internet	22 palabras — < 1%
16	repositorio.ucv.edu.pe Internet	21 palabras — < 1%
17	ri.ujat.mx Internet	20 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS

ACTIVADO

EXCLUIR FUENTES

DESACTIVADO

EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA

ACTIVADO

EXCLUIR COINCIDENCIAS < 20 PALABRAS