

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS GENOTIPOS DE CACAO
CSS80, SUI32 Y ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA
ETAPA DE TOSTADO.**

**LENIN EDUARDO ACUÑA ALVEAR.
EDGAR FABIÁN HERNÁNDEZ ANGULO.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2010

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS GENOTIPOS DE CACAO
CSS80, SUI32 Y ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA
ETAPA DE TOSTADO.**

**LENIN EDUARDO ACUÑA ALVEAR.
EDGAR FABIÁN HERNÁNDEZ ANGULO.**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Ingeniero Químico**

**Director
CRISTIAN BLANCO TIRADO
Químico, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2010.**

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

DIOS, por la vida que me concedió, por acompañarme cada momento, por la familia que me ha dado. Gracias DIOS.

A mi Madre, por ser la mujer que siempre ha estado conmigo, por ser el ángel que DIOS me concedió para que acompañase mis pasos. Gracias Madre por cada bendición, por cada beso, por el apoyo incondicional, por tu aliento que revitalizó mi pensamiento y que impulsa cada vez más mi corazón. DIOS te bendiga

LEONOR ALVEAR, Madre te amo desde mis entrañas.

A mi Padre, por ser en momentos claves la voz y destello que ilumina mi pensamiento: EUSTACIO ACUÑA. DIOS te bendiga Padre.

A mis hermanas: ELIANA, VANESSA y FANNY.

A mi hermano: MIGUEL.

A mis sobrinas: NATALIA Y VALENTINA.

A los Acuña y Alvear de mi Familia, en especial a mi abuela: ANA ARIAS.

A las familias que me acogieron en su seno: MARTHA DE ARCINIEGAS,
MARLENE ARDILA, NICOLAS CUEVAS.

Es complicado incluir en esta dedicatoria a todas las personas que me han brindado su apoyo en todo este camino. Se los dedico también.

Gracias a todos por ser esa fuerza viva que dió movimiento a mi vida.

Atentamente,

LENIN EDUARDO ACUÑA ALVEAR

DEDICATORIA

A Dios por permitirme llegar a este punto de mi desarrollo profesional y humano

A mi abuelo, quien desde el cielo me brindo una luz permanente de esperanza para cumplir este sueño y todos los que vienen

A mi madre Eva Elena y mi padre Alfonso José, a mi abuela Carmen y mi tía Rosanna por su apoyo incondicional e incansable sacrificio, motivando constantemente mi formación y brindándome la oportunidad de ser lo que soy.

A Astrid María, porque tu ejemplo, tu sabiduría y tus consejos han trazado el camino a seguir para mi realización como persona, también por tu apoyo y comprensión durante los buenos y malos momentos que nos ofrece la vida pero sobre todo por ofrecerme lo mejor y más preciado... TU AMOR

A mis hermanos Daniel, Cindy y Carmen por estar conmigo y apoyarme siempre.

A mi familia Hernández Maestre y Lilia Ortiz quienes llenaron mi vida con su amor y enseñanzas y sin quienes esta historia no habría sido igual.

No tengo palabras para seguir describiendo el gran regocijo que me da poder terminar esta carrera en donde profesores, compañeros y amigos dejan parte de si para dar vida a las ilusiones de niño que hoy en día se hacen realidad.

Gracias totales,

Fabián

AGRADECIMIENTOS

Al doctor Cristian Blanco Tirado por sus valiosos aportes como director del proyecto. Al doctor Álvaro Ramírez García, calificador de la proyecto. Al ingeniero Raúl Gómez y a los señores de CORPOICA, por su valiosa enseñanza en agronomía. A los señores: Eduardo Carreño y Wilson Carreño, auxiliares del Laboratorio de Ingeniería Química. Al ingeniero Fabio Aranzazu. A la doctora Janeth Aidé Perea, por darnos claras directrices en el proyecto. A los amigos del CICTA, por sus enseñanzas en las técnicas de laboratorio de análisis de alimentos. A la ingeniera Vanessa Acuña, por la colaboración incondicional.

LENIN EDUARDO ACUÑA ALVEAR

AGRADECIMIENTOS

Al Doctor Cristian Blanco, por la confianza depositada en nosotros, por su apoyo y su generosidad. Gracias por esta experiencia tan enriquecedora.

Al Ingeniero Raúl Gómez de la Estación Experimental La Suiza de CORPOICA por sus valiosos consejos y sus grandes aportes para el desarrollo de este proyecto.

A la Doctora Aidé Perea por brindarnos la oportunidad de trabajar en los laboratorios del CICTA.

A mi Amigo, Juan Camilo Rodríguez, por su apoyo incondicional y sus invaluable aportes creativos e inteligentes durante la elaboración de este trabajo.

A Eduardo y Wilson, auxiliares de laboratorio de la escuela de Ingeniería Química, por su paciencia, guía y colaboración durante la etapa de experimentación.

Fabián Hernández

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS	3
1.1. GENERAL:	3
1.2. ESPECÍFICOS:	3
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. GENERALIDADES	4
2.1.1. Reseña Histórica:	4
2.2. PROCESO DE BENEFICIO DEL CACAO	6
2.2.1. Recolección y Desgrane	6
2.2.2. Fermentación	6
2.2.3. Secado	7
2.3. TOSTADO	7
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	9
3.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS	10
3.2. ETAPAS DEL PROCESO:	11
3.2.1 Fermentación:	11
3.2.2. Secado Natural:	12
3.2.3. Estudio de las curvas de secado a diferentes temperaturas en la etapa de tostado:	12
3.2.4. Estudios de los puntos de operación:	13
3.2.5. Caracterización fisicoquímica de los genotipos CSS80, SUI32 y la muestra patrón (Industria Chocolatera Girones S.A.).	14

3.2.6. Estudio de las variables de tostado en una tostadora piloto	15
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	16
4.1. pH y TEMPERATURA EN LA FERMENTACIÓN:	16
4.2. TIEMPO DE SECADO:	16
4.3. COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD CON RESPECTO AL TIEMPO EN LA ETAPA DE TOSTADO	17
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES %PROTEÍNAS Y %A. ACÉTICO EN LOS PUNTOS DE OPERACIÓN	20
4.5. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA A LAS MUESTRAS DE CSS80, SUI32 Y LA MUESTRA PATRÓN (INDUSTRIA CHOCOLATERA GIRONES S.A.).	22
4.6. ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE TOSTADO EN UNA TOSTADORA PILOTO	23
5. CONCLUSIONES	24
6. RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA	26
ANEXOS	28

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. PH del Cotiledón Vs. Tiempo de fermentación	16
Figura 2. Temperatura Vs. Tiempo de fermentación	16
Figura 3. Variación del % Humedad Vs tiempo de secado	17
Figura 4. Curvas %Humedad Vs Tiempo en el Proceso de Tostado a Diferentes Isotermas	17
Figura 5. Densidad de flujo de humedad Vs fracción de humedad	19
Figura 6. %Proteínas en cada punto de operación	20
Figura 7. %A. acético en cada punto de operación	20

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características Morfológicas de los Genotipos de Estudio.	29
Tabla 2. Tiempo requerido para alcanzar el criterio de parada en cada punto de operación	18
Tabla 3. Correlación flux-fracción a diferentes temperaturas	20
Tabla 4. Características fisicoquímicas de los Genotipos Estudiados	22

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. GENOTIPOS DE ESTUDIO.	28
ANEXO 2. PARÁMETROS DE CALIDAD DE GRANOS FERMENTADOS Y SECOS	30
ANEXO 3. COMPORTAMIENTO DE UNA CURVA TÍPICA DE SECADO (%HUMEDAD VS TIEMPO).	31
ANEXO 4. TOMA DE MUESTRAS DISTRIBUIDAS EN LOS PROCESOS DEL ESTUDIO.	33
ANEXO 5. BENEFICIO DEL CACAO	34
ANEXO 6. TABLA DE DATOS DE %HUMEDAD VS TIEMPO DE TOSTADO CSS80 PARA EL RANGO DE 105°C – 125°C	35
ANEXO 7. TABLA DE DATOS DE %HUMEDAD VS TIEMPO DE TOSTADO SUI32	37
ANEXO 8. DETERMINACIONES FISICOQUÍMICAS.	38
ANEXO 9. TOSTADORA PILOTO.	41
ANEXO 10. RESULTADOS DE ANOVA PARA EL ANÁLISIS DE % PROTEÍNAS Y %A. ACÉTICO EN LOS PUNTOS DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE TOSTADO	43
ANEXO 11. RESULTADOS DE ANOVA PARA EL ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FISICOQUÍMICAS DE CADA GENOTIPO ESTUDIADO.	45

ABREVIATURAS

A	Área de Transferencia
A.O.A.C	Association of Official Analytical Chemists
CICTA	Centro de Ciencia y Tecnología de Alimentos
C.N.CH	Compañía Nacional de Chocolates
CORPOICA	Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
CSS80	Corpoica Selección Suiza 80
FAO	Food and Agriculture Organization
FEDECACAO	Federación Nacional de Cacaoteros
ICONTEC	Instituto Colombiano de Normas Técnicas
N_c	Flux Crítico.
NTC	Norma Técnica Colombiana
SUI32	Selección Urabá Introducido 32
S_s	Masa del Sólido Seco
X_c	Fracción de Humedad Crítica
X_i	Fracción de Humedad Inicial
X_f	Fracción de Humedad final
X^*	Fracción de Humedad en equilibrio
Θ	Tiempo de Operación

RESUMEN

TITULO: CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS GENOTIPOS DE CACAO CSS 80, SUI 32 Y ESTUDIO DE LAS VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA ETAPA DE TOSTADO.*

AUTORES: LENIN EDUARDO ACUÑA ALVEAR, EDGAR FABIÁN HERNÁNDEZ ANGULO.**

Palabras claves: Tostado, genotipos de cacao, análisis bromatológico, curvas de secado

DESCRIPCIÓN

Dado el interés reciente por parte de CORPOICA en los genotipos CSS80 y SUI32 de cacao debido a la alta producción de frutos del árbol, tolerancia a problemas fitosanitarios y calidad en cuanto a tamaños de grano e índice de mazorca, se realizó el análisis bromatológico y el estudio de la influencia de variables del proceso de tostado tales como el tiempo y la temperatura sobre la acidez y composición proteica.

Inicialmente se fermentaron semillas de los clones especificados (CSS80 y SUI32) en fermentadores tipo cajón, siguiendo las pautas establecidas por investigaciones afines. Posterior a la etapa de secado, se evaluó la cinética de evaporación a diferentes temperaturas localizadas en los intervalos establecidos en la literatura (100°C a 150°C) en un analizador de humedades *OHAUS MD45*. Se establecieron relaciones entre las variables de tiempo (Θ) y humedad (%H), siendo este último, un criterio de parada utilizado en la industria.

Se llevó a cabo la caracterización de cada genotipo crudo mediante un análisis bromatológico; determinándose el porcentaje de humedad, ceniza, fibra, grasa, proteína, acidez, contenido de cascarilla y el pH del cotiledón.

Una vez se alcanzaron las condiciones preestablecidas para la etapa de tostado ($\Theta_n, T_{n=100^\circ\text{C a } 150^\circ\text{C}}$, criterio de parada $\%H \approx 2$), se evaluó en cada punto el contenido proteico y la cantidad de ácido acético.

A partir de los parámetros de proceso obtenidos, se normalizó la etapa de tostado de un proceso de producción artesanal de cacao en una finca ubicada en las afueras de la ciudad de Bucaramanga.

*Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Químico.

** Facultad de Físicoquímicas – Escuela de Ingeniería Química. Director Dr. Cristian Blanco Tirado. PhD.

ABSTRACT

TITLE: PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF THE CSS 80 AND SUI 32 COCOA GENOTYPES AND STUDY OF THE VARIABLES THAT INFLUENCE THE ROASTING STAGE.*

AUTHORS: LENIN EDUARDO ACUÑA ALVEAR; EDGAR FABIÁN HERNÁNDEZ ANGULO.†

KEY WORDS: roasting, cocoa genotypes, bromatologic analysis, drying curves

DESCRIPTION:

Due to the recent interest by CORPOICA in cocoa genotypes CSS80 and SUI32, by virtue of the high production, phytosanitary problems resistance and grain size quality and fruit index, a bromatologic analysis was performed; the influence of process variables such as time and temperature on acidity and protein content during the roasting stage was also studied.

Initially, seeds of the specified clones (CSS80 and SUI32) were fermented in a box-type device, following the guidelines established by similar investigations. Following the drying stage, vaporization kinetics at different temperatures located on ranges established by literature (100°C – 150°C) were evaluated on a humidity analyzer *OHAUS MD45*. The relationship between time (Θ) and humidity (%H) was determined, being the latter the stop criteria used commonly in the industry.

The raw genotypes were characterized by means of a bromatologic analysis; humidity, ashes, fiber, fat, protein and acidity percentages, shell content and cotyledon pH were found.

Once the preestablished operating conditions of the roasting stage (Θ_n , °T_{n=100°C to 150°C}, stop criteria %H≈2) were reached, protein and acetic acid content was evaluated for each operating point.

From the process parameters obtained, the roasting stage of a handcrafted cocoa production process on a farm located outside Bucaramanga was normalized.

* Undergrate Thesis Work to opt for the title of Chemical Engineer.

** Physicochemical faculty – Chemical Engineering Department. Advisor: Ph.D Cristian Blanco Tirado.

INTRODUCCIÓN

El cacao utilizado en la industria del chocolate debe ser tratado de tal manera que su beneficio garantice el desarrollo pleno de características organolépticas agradables y elimine a su vez otras sustancias no deseables, tales como taninos y purinas, que producen un sabor astringente, amargo y desagradable. Dicho beneficio consiste en el sometimiento del grano de cacao a un proceso de fermentación, secado y tostado, donde se desarrollan diversas transformaciones fisicoquímicas. Para la obtención de productos de cacao de calidad, los procesos mencionados han de seguir pasos ya normalizados, los cuales garanticen que se pueda llevar la producción de forma homogénea a gran escala, para esto se deben enmarcar los pasos a seguir en la fermentación, secado y tostado de cada una de los diferentes genotipos de cacao y su posterior calificación organoléptica y así tener la ruta ideal en la producción de un cacao de calidad. La forma tradicional de evaluar la calidad de un cacao es muy subjetiva, se basa en las características de olor, color y sabor que se obtienen en el producto fermentado, secado y tostado; o bien, mediante observaciones visuales efectuadas directamente sobre el grano. Con el objeto de tener un criterio con fundamentos técnicos para evaluar con mayor exactitud la calidad del cacao, se deben mirar las variables que afectan su proceso.

Por la importancia que se le ha dado a los genotipos de cacao CSS80 y SUI32 cultivados en la estación experimental “La Suiza” ubicada en Rionegro-Santander, por parte de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA), teniendo en cuenta la alta producción de frutos que tiene el árbol, la tolerancia a problemas fitosanitarios y la calidad en cuanto a tamaños de grano e índice de mazorca; se hace necesaria su caracterización fisicoquímica.

Se considero de interés observar la trazabilidad del grano de cacao desde que se recolecto hasta el sometimiento a la operación de tostado realizada en este proyecto. Para la fermentación se tuvo en cuenta la metodología planteada en bibliografía especializada (Aidé Perea, 1989) y se ciño a los parámetros allí descritos.

Teniendo granos de cacao correctamente fermentados y secos, se analizo la cinética de evaporación, hasta llevarlos a una humedad establecida por la **Norma ICONTEC NTC 793** y con base en cada curva descrita se tomaron los tiempos y temperaturas para la operación de tostado. Las muestras tomadas para cada punto de operación se compararon con una muestra patrón obtenida de un proceso ya estandarizado por la industria chocolatera Girones S.A.

Fue necesario realizar un estudio más a fondo de las características nutricionales de los clones de cacao, lo que conllevó a la realización de un análisis bromatológico como fundamento de la caracterización fisicoquímica de los genotipos respectivos (CSS80 y SUI32); entre los parámetros del análisis bromatológico se cuentan: %Humedad, %ceniza, %proteína, %fibra, %grasa, %acidez, %de cascarilla del grano y el pH del cotiledón.

Esta tesis de grado pretende determinar la existencia de diferencias apreciables en las propiedades fisicoquímicas entre los genotipos CSS80 y SUI32, que dificultaran la implementación de un tratamiento de tostado estándar para ambos clones; además se busca correlacionar las variables del proceso de tostado tales como tiempo y temperatura con las características y calidad del grano obtenidos a partir de los genotipos estudiados, buscando obtener un mejor beneficio en los procesos de producción de chocolates que pudiera ser dirigido a personas que trabajan artesanalmente en este proceso.

1. OBJETIVOS

1.1. GENERAL:

Caracterizar bromatológicamente los genotipos de cacao CSS80 y SUI32; y determinar la influencia de variables del proceso de tostado tales como el tiempo y la temperatura en las características del grano obtenido a partir del genotipo CSS80

1.2. ESPECÍFICOS:

- Establecer el porcentaje de humedad, ceniza, fibra, grasa, proteína, acidez, contenido de cascarilla y el pH del cotiledón para los clones CSS80 y SUI32.
- Determinar las variaciones en el contenido de proteínas y ácido acético del genotipo CSS80 para diferentes puntos de operación en el proceso de tostado.
- Presentar las curvas de secado elaboradas para los genotipos CSS80 y SUI32, a diferentes temperaturas dentro de los rangos de operación aceptados en la bibliografía.
- Normalizar un proceso de tostado de cacao en una tostadora artesanal a partir de los resultados obtenidos de consumo energético para diferentes puntos de operación.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. Reseña Histórica:

La planta de cacao, *Theobroma cacao L.*, tiene su origen de América del sur, (Sukla, 1997) comentan que su epicentro fue en los valles del Amazonas y el Orinoco. Carlos Linneo, fundador de la botánica contemporánea, le dio un nombre griego al cacao para identificarlo científicamente: *Theobroma*, donde *theo*: Dios y *broma*: alimentos, significando así: “alimento de los dioses” (Beckett, 1994; Sukla, 1997).

Aspectos Botánicos

Dentro de la especie *Theobroma Cacao* hay que distinguir tres clases principales:

Criollo: Presentan apariencia alargada y coloración verde con manchas rojas.

Los árboles criollos son muy sensibles a las influencias climáticas y a los parásitos (García, 1985). Proporcionan granos muy aromáticos, finos y de mayor suavidad que los forasteros es por eso su predilección en el mercado de chocolatería fina.

Forasteros: Los árboles forasteros son más fuertes, más resistentes y rinden por lo común abundantes cosechas. El grano forastero rojo purpura constituye la fracción principal de la cosecha mundial de cacao de consumo.

Híbridos: Resultan del cruzamiento sexual de dos árboles, usualmente dirigido por el hombre, tratando de generar determinadas características deseables.

Reproducción Vegetal Del Cacao.

Vía sexual: Por esta ruta hay combinación de material genético de la “planta padre”, la cual aporta el polen a un ovulo procedente de la “planta madre”. Siendo el cacao obtenido el producto de una combinación de características de ambos progenitores. A optar por esta vía, todos los descendientes serian llamados: “*Híbridos*”. Los criterios para la selección de las “plantas madre y padre” de esta semilla se basan en: alta tolerancia a plagas, enfermedades (moniliasis y *escoba de brujas*) y buena producción.

Vía asexual: En estas ruta no hay combinación de material genético, por consiguiente el material genético de la descendencia es el mismo al de sus progenitores, esto origina que las características genotípicas y fenotípicas de la planta descendiente sean idénticas a las de la planta progenitora. A estos cacaos se les denomina ***clones o genotipos***.

Con la propagación vegetativa asexual, se multiplican las características agronómicas de una planta identificada previamente como clon universal y regional, dependiendo de la zona de adaptación. De estas plantas se extraen yemas para ser injertadas en los patrones ya sembrados. Este método de propagación es conocido como injerto ó trasplante de tejidos vegetales.

GENOTIPOS CSS80 Y SUI32.

CORPOICA ha venido investigando y desarrollando nuevos genotipos de cacao (Anexo 1), con mayor resistencia a problemas fitosanitarios y mayor productividad de fruto del árbol. Las características morfológicas de los clones CSS80 y SUI32 estudiados en esta tesis se presentan en el Anexo1.1.

2.2. PROCESO DE BENEFICIO DEL CACAO

2.2.1. Recolección y Desgrane

En la recolección se cortan cuidadosamente del árbol los frutos bien maduros y se separan los granos de la placenta.

2.2.2. Fermentación

La cosecha se somete a fermentación. Se debe tener en cuenta una masa de fermentación mínimo de 150 kg y unas dimensiones convenientes del fermentador para que el proceso sea adecuado. Una vez en el fermentador, se dejan según la clase, durante 3-8 días hasta alcanzar la temperatura óptima; el oxígeno necesario para el proceso se facilita volteando los granos una vez por día, con este proceder aumenta rápidamente la temperatura del producto en fermentación a 44-47°C (punto óptimo), con lo cual la capacidad de germinación se pierde y el medio se acidifica. Los cambios químicos que ocurren durante la fermentación consisten en la descomposición, mediante hidrólisis, de los taninos contenidos en el grano, obteniéndose como productos monosacáridos y compuestos polifenólicos de bajo peso molecular, estos últimos se difunden a través de las células que los contienen y se unen a las proteínas para formar compuestos menos solubles; de esta manera se elimina el sabor astringente y se desarrolla los sabores agradables. Otro cambio importante que ocurre durante el proceso de la fermentación es la transformación de los azúcares, la cual depende del lugar del grano en que se localizan, así tenemos que aquellos que se encuentran presentes en la parte exterior, sufren cambios producidos por la acción de levaduras y bacterias, los cuales pueden llegar hasta la formación del gas carbónico y agua; y los cambios que se localizan en el interior del grano solo se desdoblán por acción de enzimas como la *invertasa* y *refinasa*, para proporcionar monosacáridos, los cuales reaccionan con los aminoácidos durante el tostado para formar compuestos aromáticos que contribuyen al desarrollo de las características propias del chocolate. La parte proteica del grano también sufre

transformaciones químicas durante el beneficio, hidrolizándose a medida que avanza el tiempo de fermentación y proporcionando los aminoácidos que reaccionan con los monosacáridos, como se menciona anteriormente (Baigrie, 1987; Ziegleder, 1988; Jinap 1990; Abdul Samah, 1992).

2.2.3. Secado

Tiene como objeto, la disminución del contenido de humedad, de acidez, astringencia y el desarrollo del color característico de granos bien fermentados, esto se realiza de forma natural en estructuras llamadas casaelbas y de forma artificial mediante el uso de aparatos de secado con inyección de aire.

El cacao bien fermentado y seco exhibe los cotiledones de colores castaños oscuros uniformes y desmenuzables con facilidad. Los parámetros de calidad de los granos fermentados y secos según FEDECACAO se presentan en el anexo 2.

2.3. Tostado

Los principales efectos que se observan al tostar el grano son: eliminación de ácido acético, intensificación del sabor agradable, desecación de la cascarilla, deshidratación del grano y formación de nuevos componentes que acrecientan el sabor aromático, entre los cuales destacan compuestos de naturaleza aldehídica, formados por la reacción que ocurre entre los monosacáridos y los aminoácidos que se obtienen de la fermentación.

El grado de maduración y el contenido de agua, clase y tamaño de los granos, así como el tratamiento inicial de estos en el país de origen determinan la intensidad y tipo de proceso de tostado. En general, en esta operación no debe excederse la temperatura de 150°C, siendo entonces las temperaturas manejadas en un intervalo de 105°C hasta 150°C³.

³ KRYSIAK W.; Influence of roasting conditions on coloration of roasted cocoa beans En: Elsevier [en línea]. (13 sep.2005). Disponible en: <<http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng>>[citado en 13 septiembre 2005]

Los hornos de tostado pueden funcionar por baches o de forma continua. La transmisión de calor hasta los granos se realiza de manera inmediata a través de superficies calentadas o aplicando una corriente de aire caliente.

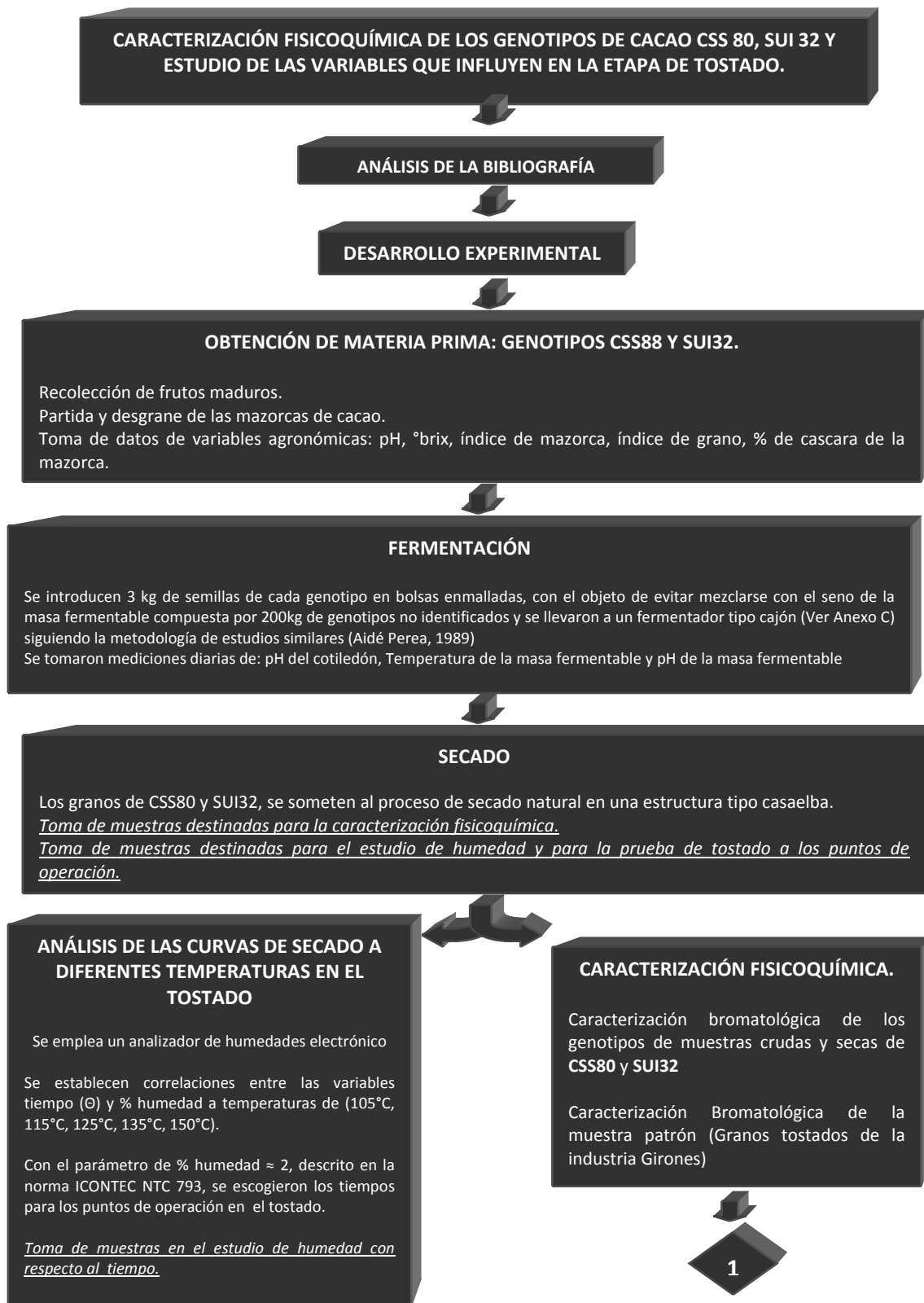
Análisis en el proceso de tostado: En el proceso de tostado se controla como variable principal el tiempo, manipulando la temperatura hasta obtener las condiciones de % humedad, y características organolépticas deseadas. El estudio del proceso de tostado, comprende:

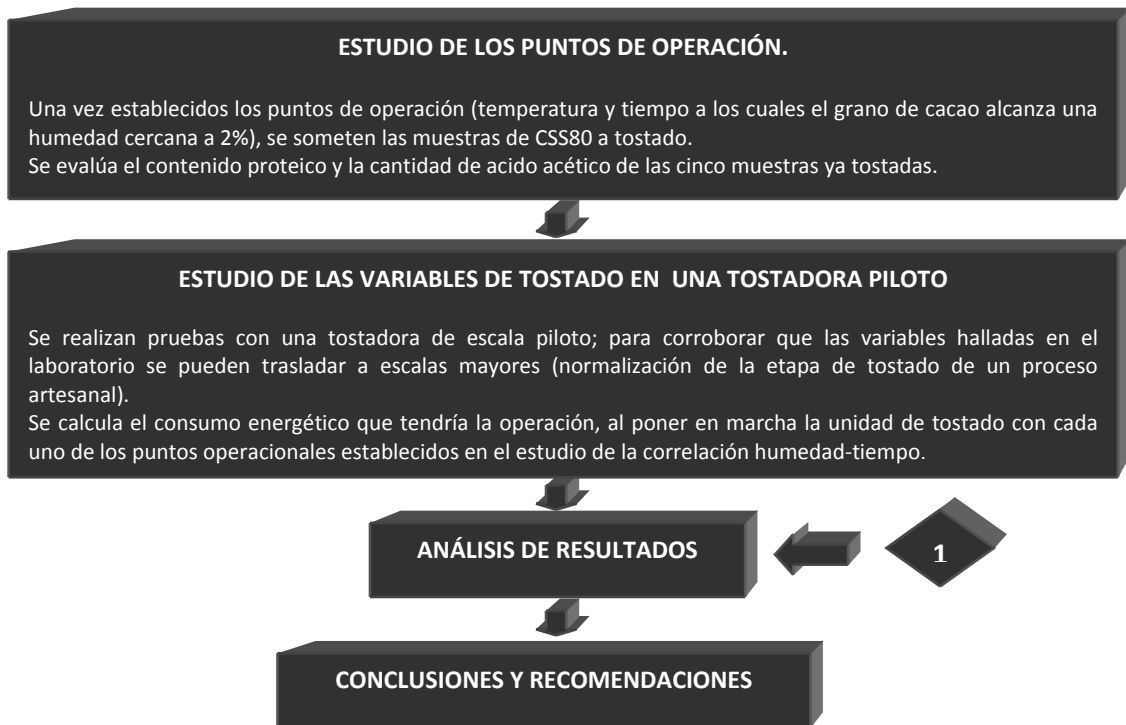
Mecanismo de secado por lotes: Este estudio se realiza con el fin de fijar tiempos de operación y determinar el tamaño de los equipos para determinadas condiciones de producción; para esto se necesita conocer la relación % Humedad – tiempo a las condiciones especificadas.

Comportamiento de una Curva Típica de Secado: La etapa I de la curva (a,b hasta c) presentada en el anexo 3, representa la forma como se evapora la película que recubre el sólido inicialmente (humedad total no ligada), lo que ocasiona una rapidez constante ($N_c = \text{constante}$; $dX/dt = 0$).

En la etapa II (c hasta e) la película que recubría el sólido inicialmente empieza a desaparecer, creando puntos secos en la superficie, causando que la evaporación de humedad en el interior del sólido se torne cada vez más lenta, ya que dicha humedad debe recorrer intersticios y capilares (decrecimiento del N_c).

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL





3.1 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Muestreo: El cacao fresco fue suministrado por CORPOICA de la estación experimental la Suiza (Rionegro- Santander). El Anexo 4 describe el muestreo realizado en las distintas etapas.

Diseño de experimentos: Las muestras fueron tomadas cada una de ellas aleatoriamente de forma tal que hayan sido representativas. Las pruebas se realizaron por duplicado y el diseño adoptado en el estudio en general fue: experimentos de un solo factor con la temperatura ajustada a un valor fijo para determinar los tiempos del proceso necesarios para alcanzar una humedad del 2%. En cada proceso se enuncian las variables tenidas en cuenta para los respectivos experimentos.

3.2. ETAPAS DEL PROCESO:

3.2.1 Fermentación:

El estudio tomo en cuenta la trazabilidad del grano desde la fermentación solamente para garantizar los genotipos de calidad para las pruebas en el tostado.

Toma y Preparación de la Muestra: De cada una de las semillas frescas de los genotipos de cacao (CSS80 y SUI32), se pesaron 3 kg y se introdujeron en una bolsa enmallada, se rotuló y se colocaron en un fermentador tipo cajón (ver Anexo 5). La fermentación se realizó en la Estación Experimental la Suiza (CORPOICA). Se utilizaron 200 kg de cacao sin especificar como seno de la masa fermentada, en el cual se introdujeron los genotipos para abrigoarlos, y así garantizar una buena fermentación.

Estudios realizados a la etapa de fermentación⁴, correlacionan las variables de pH masa fermentada, pH cotiledón, °T masa fermentada (entre otras variables) y tiempo de fermentación óptimo. Aplicando los métodos descritos en dichos estudios a los genotipos analizados se garantizo una fermentación adecuada.

Criterio de parada en el tiempo de fermentación:

$$^{\circ}\text{T}_{\text{masa fermentada}} = 44^{\circ}\text{C} - 47^{\circ}\text{C} \quad \text{pH}_{\text{cotiledón}} = < 5$$

Determinación de la °T masa fermentada: Se midió “in situ” cada 24 horas, se utilizo un termómetro de mercurio, este se introdujo en diferentes puntos en el fermentador.

⁴ PEREA, Aidé. Contribución al estudio y mejoramiento del proceso de fermentación del cacao.VII CONGRESO COLOMBIANO DE QUÍMICA (1989: Bucaramanga). UIS. p 1-11.
MORENO N.; DURAN T. Evaluación de la variación del perfil ácido del grano de cacao durante los procesos de fermentación y secado. Bucaramanga. 1999. Trabajo de grado (Químico) Universidad Industrial de Santander.

Determinación del PH cotiledón: Para su determinación se basó en el método descrito por Jinap y col. (1990); Holm y col. (1992) realizando mediciones cada 24 horas.

3.2.2. Secado Natural:

Se realizó en una estructura llamada: “*casa elba*” (ver Anexo 5) utilizando como criterio de parada una humedad cercana a 8%⁵, se analizó el porcentaje de humedad del grano fermentado cada 24 horas empleando un analizador de humedades **OHAUS MD45**. Hasta que los granos alcanzaron una humedad del 8%. Una vez secos se almacenaron en bolsas de polietileno de alta densidad (bolsas ziploc) y se rotularon.

3.2.3. Estudio de las curvas de secado a diferentes temperaturas en la etapa de tostado:

Se analizaron las curvas de secado para establecer el tiempo de tostado del grano para que su humedad se acople a valores establecidos en la norma técnica colombiana **NTC 793** y valores manejados industrialmente (humedad de aproximadamente 2%).

Toma y Preparación de las Muestras: De las muestras fermentadas y secas; se tomaron cinco muestras del genotipo CSS80 y cinco muestras del genotipo SUI32. En la bibliografía se enmarca un amplio rango de temperaturas de tostado que van desde 100°C hasta 150°C. En este estudio se tomaron 5 puntos de operación a las siguientes temperaturas fijas: 105°C, 115°C, 125°C, 135°C, 150°C.

Se tomo una muestra de 10 gr. del genotipo **CSS80** y se introdujo en el analizador de humedades **OHAUS MD45**, al instrumento se le dio el parámetro de temperatura de 105°C y se obtuvo el registro de la curva %Humedad Vs Tiempo

⁵ PINZÓN O.; ROJAS J. Guía técnica para el cultivo del cacao. Colombia 4ªed. 2009. p .156.

(ver Anexo 6); posteriormente se ajustó el analizador a una temperatura de 115°C y se registró la curva; se procedió de la misma manera para las temperaturas de: 125°C, 135°C y 150°C. Este procedimiento se duplicó para el genotipo SUI32 (ver Anexo 7).

3.2.4. Estudios de los puntos de operación:

En el estudio anterior se establecieron curvas de %H Vs Tiempo a temperaturas fijas. El punto de operación se estima, buscando en la isoterma el tiempo en el cual el % de humedad es aproximadamente 2 para el valor de temperatura establecido. Se procedió a realizar el tostado para los puntos de operación definidos.

Toma y Preparación de Muestras: Se tomaron cinco muestras fermentadas y secas de 100 gramos del genotipo CSS80 y una muestra tostada de 100 gramos suministrada por la Industria Chocolatera Girones S.A. Las 5 muestras del genotipo CSS80 se sometieron a tostado a las temperaturas previamente establecidas en un horno de laboratorio por un tiempo determinado a partir de las curvas de %H Vs tiempo diseñadas anteriormente.

Finalizado el proceso de tostado se llevó a cabo el siguiente tratamiento para las muestras:

Pre-Tratamiento: Se descascarillaron y los cotiledones se sometieron a una disminución de tamaño mediante una licuadora hasta una contextura arenosa.

Determinación de Proteínas: La determinación de proteína se efectuó a cada muestra pulverizada, siguiendo el método de Kjeldahl-Gunning-Arnold adaptado Griffin 1965⁶ (ver Anexo 8).

⁶ BERNAL I.; Análisis de alimentos. Editorial Guadalupe Ltda. 1993.
VILLAMIZAR A.; RAMÍREZ O.; Caracterización fisicoquímica de clones regionales de cacao de las zonas cacaoteras de Colombia. 2008.

Determinación de Acido Acético: La determinación del % de ácido acético se efectuó siguiendo el método de Acidez total A.O.A.C. 31.231/84,942.15/90 adaptado (ver Anexo 8).

3.2.5. Caracterización fisicoquímica de los genotipos CSS80, SUI32 y la muestra patrón (Industria Chocolatera Girones S.A.).

Toma y Preparación de las Muestras: Se tomaron 2 muestras fermentadas y secas de 200 gr, una correspondiente a cada genotipo. Se descascarillaron y los cotiledones se sometieron a una disminución de tamaño mediante una licuadora *Osterizer*.

Los análisis de la caracterización fueron realizados en el CICTA: Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos, de la Universidad Industrial de Santander.

Análisis Físico:

PH del Cotiledón: método descrito por Jinap y col. (1990); Holm y col. (1992). (ver Anexo 8).

Porcentaje de Cascarilla: (ver Anexo 8)

Análisis Químico:

Determinación de Humedad: Se determinó siguiendo los pasos de la A.O.A.C 7.003/ 84,930.15/ 90 adaptado (ver Anexo 8).

Determinación de Cenizas: Se determinó siguiendo los pasos de la A.O.A.C 7.009/ 84,420.05/ 90 adaptado (ver Anexo 8).

Determinación de Grasa: Se determinó siguiendo los pasos de la A.O.A.C 7.060/84,920.39/ 90 adaptado (ver Anexo 8).

Determinación de Fibra: Se determinó siguiendo los pasos de la A.O.A.C 7.066/84,962.09/ 90 adaptado (ver Anexo 8).

Determinación de Proteínas: La determinación de proteína se efectuó a cada muestra pulverizada, siguiendo el método de Kjeldahl-Gunning-Arnold adaptado Griffin 1965 (ver Anexo 8).

Determinación de Acido Acético: La determinación del % de ácido acético se efectuó siguiendo el método de Acidez total A.O.A.C. 31.231/84,942.15/90 adaptado (ver Anexo 8).

3.2.6. Estudio de las variables de tostado en una tostadora piloto

El estudio se realizó en una tostadora piloto de capacidad 15 kg y de funcionamiento con gas natural. Las variables tomadas en cuenta para este experimento están tabuladas en el Anexo 9.

Toma y Preparación de las Muestras: Se introdujo a la tostadora una masa de 15 Kg de Cacao del mismo tamaño de grano que el del genotipo CSS80. Posteriormente se procedió a operar la tostadora con cada uno de los cinco puntos de operación establecidos en el estudio. De cada punto de operación se extrajeron muestras para determinar el %de humedad hasta alcanzar el criterio de parada (aproximadamente 2%). Para cada experimento se determino el consumo energético (electricidad y gas natural) evaluándose el costo de la operación.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. pH y TEMPERATURA EN LA FERMENTACIÓN:

Figura 1. PH del Cotiledón Vs. Tiempo de fermentación

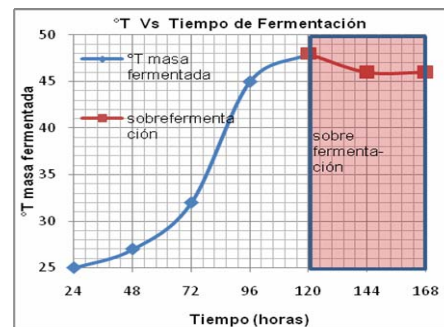
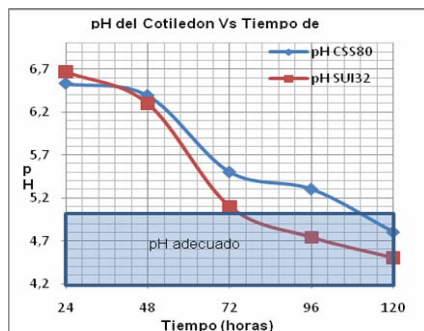


Figura 2. Temperatura Vs. Tiempo de fermentación

El pH presenta un comportamiento similar en ambos genotipos disminuyendo a través del tiempo, debido a que tiene una relación directa con la aparición inicial y evolución de ácidos orgánicos (principalmente ácido acético) en el grano fresco a medida que transcurre la fermentación. Las bacterias acéticas intensifican su actividad transformando el etanol en ácido acético; el cambio más significativo en el pH ocurre entre 48-72 horas indicando el inicio de la condensación oxidativa, etapa en la cual debido a las reacciones exotérmicas se eleva la temperatura de la masa fermentada. La $^{\circ}T$ de la masa fermentada se incrementa bruscamente a partir de las 72 horas (condensación oxidativa) llegando a un pico de $48^{\circ}C$, ocasionando la muerte del embrión. Se encontró que las condiciones ideales para la fermentación son $^{\circ}T = 44-47^{\circ}C$ y $pH < 5^7$. El tiempo requerido para alcanzar la fermentación a estas condiciones es de 120 horas.

4.2. TIEMPO DE SECADO:

La humedad de los granos decrece a una velocidad descendente por 120 horas hasta alcanzarse el criterio de parada alrededor de 8% establecido por

⁷ ROHAN T.A; STEWART T. "Beneficio del cacao bruto destinado al mercado" FAO. Italia, 1964.

FEDECACAO para evitar la infestación de microorganismos en el almacenamiento que podría presentarse a valores mayores; ya que un valor de humedad inferior en esta etapa afectaría la calidad de los granos obtenidos, alterando negativamente las propiedades organolépticas.

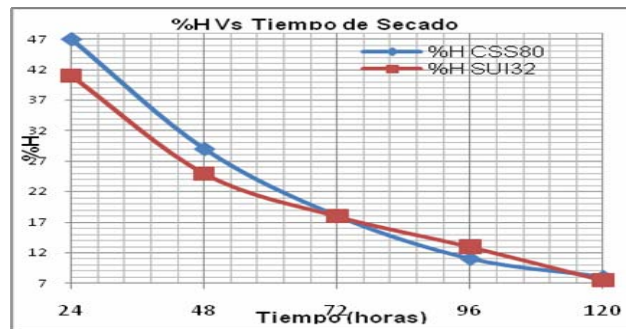


Figura 3. Variación del % Humedad Vs tiempo de secado

4.3. COMPORTAMIENTO DE LA HUMEDAD CON RESPECTO AL TIEMPO EN LA ETAPA DE TOSTADO

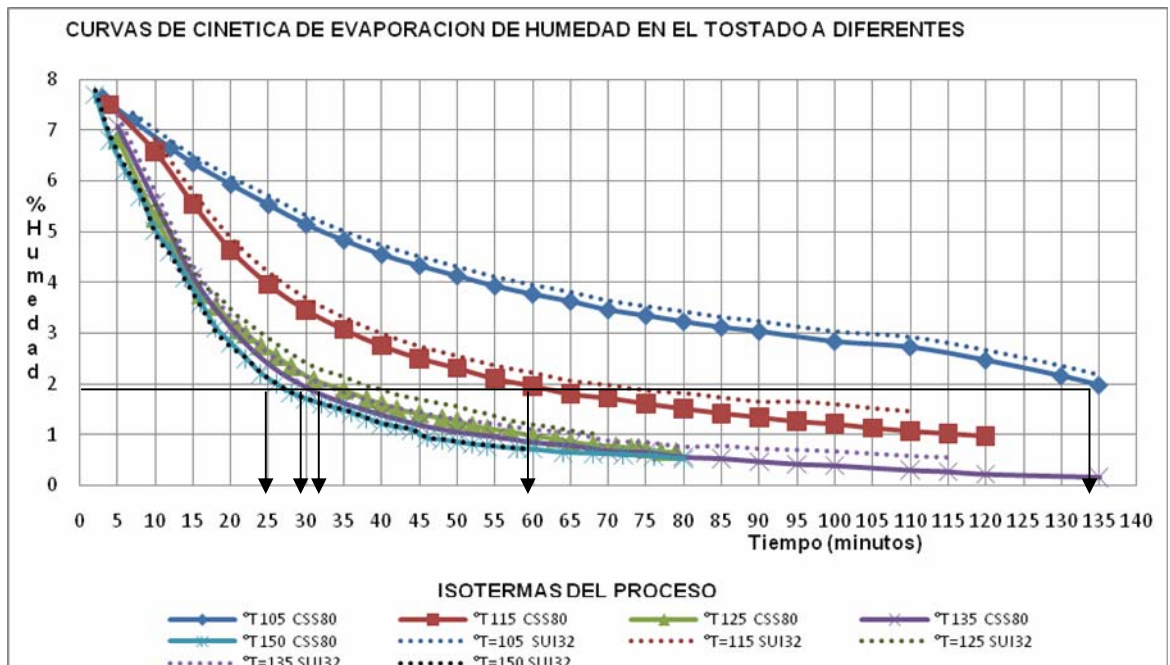


Figura 4. Curvas %Humedad Vs Tiempo en el Proceso de Tostado a Diferentes Isothermas

Se encontró que las isotermas de ambos genotipos se superponen para todos los puntos de operación en la etapa de tostado, indicando que se puede utilizar la misma curva de secado para ambos clones con resultados altamente satisfactorios.

De las curvas se podrían descartar los puntos de operación a 105°C y 115°C debido a las diferencias significativas en el tiempo requerido para alcanzar el criterio de parada (%H ≈ 2) representando mayores costos energéticos.

Las isotermas a 125, 135 y 150°C se encuentran muy próximas entre sí, representando además los puntos en que se requeriría menor tiempo para alcanzar la humedad deseada, reduciendo así los costos de operación.

La similitud en su comportamiento permitió el uso de criterios adicionales para la elección del punto óptimo de operación

Tabla 1. Tiempo requerido para alcanzar el criterio de parada en cada punto de operación

PUNTO DE OPERACIÓN	TEMPERATURA	TIEMPO	%HUMEDAD
P1	105°C	135 min.	≈2%
P2	115°C	60 min.	≈2%
P3	125°C	34 min.	≈2%
P4	135°C	30 min.	≈2%
P5	150°C	25 min.	≈2%

Los datos obtenidos en el experimento son aplicables a escala de laboratorio, pero pueden ser escalados a nivel de planta piloto o industrial por medio de formulas encontradas en la bibliografía (Ver Anexo 3.1); para esto se debe tener en cuenta la masa de operación y el área de transferencia en la cual se está evaporando la humedad.

Mediante un tratamiento matemático a los datos representados en la grafica de la figura 4, se transformó la correlación de **%Humedad Vs tiempo** de cada una de las isotermas a **“Densidad de Flujo de Humedad”** o **“Flux” Vs fracción de**

humedad graficada en la figura 5; esta grafica indica la rapidez de evaporación de la humedad con respecto a su concentración teniendo en cuenta las variables de masa de operación y el área de transferencia; obteniéndose así una función que permite calcular las variables del proceso en base a datos obtenidos en laboratorio; siendo esta aplicable a cualquier tipo de tostadora por lotes sin importar su tamaño o masa de operación permitiendo así la estandarización de cualquier proceso de tostado en la industria chocolatera.

La relación entre la densidad de flujo de humedad y la fracción de humedad para los distintos puntos de operación se presenta a continuación:

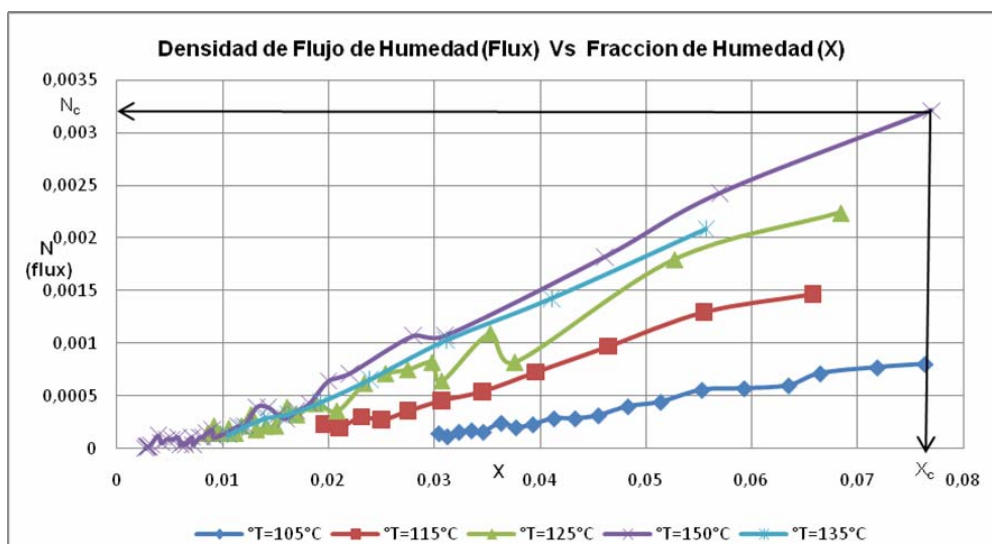


Figura 5. Densidad de flujo de humedad Vs fracción de humedad

Se encontró que se presenta un decaimiento de la velocidad de transferencia de masa de forma lineal. Esta disminución ocurre desde la fracción crítica hasta el punto de equilibrio en el cual no se evapora más humedad. Es apreciable la influencia de la temperatura en la velocidad de transferencia crítica N_c : mientras más alta sea la temperatura de tostado en el proceso, más alto el valor de N_c , esto es debido a que a mayor temperatura la humedad requiere menos tiempo para evaporarse. La relación $\Delta\text{Humedad} / \Delta\text{Tiempo}$ y el N_c no varían para una

temperatura fija al realizar operaciones a diferentes masas. Este ocurre igualmente con X^* y con la X_c .

Tabla 2. Correlación flux-fracción a diferentes temperaturas

TEMPERATUR A	CORRELACIÓN	R ²	X*	X _c	N _c
105°C	N=0,0156X - 0,0004	0,9862	0,013	0,0764	0,00080267
115°C	N= 0,0293X-0,0004	0,988	0,0097	0,0678	0,0014698
125°C	N=0,0353X - 0,0002	0,9629	0,0085	0,07	0,00256
135°C	N=0,0434X - 0,0003	0,9979	0,0077	0,0557	0,0022
150°C	N=0,0437X - 0,0002	0,9834	0,0075	0,077	0,00371075

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS VARIABLES %PROTEÍNAS Y %A. ACÉTICO EN LOS PUNTOS DE OPERACIÓN

Para los puntos de operación mencionados en la tabla 1 se tiene:

Figura 6. %Proteínas en cada punto de operación

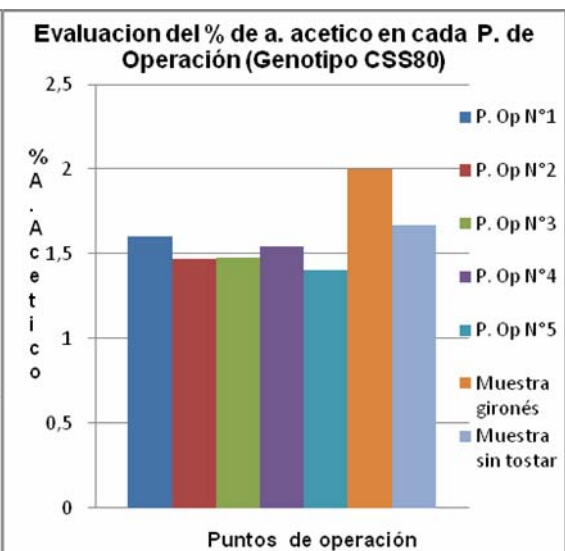
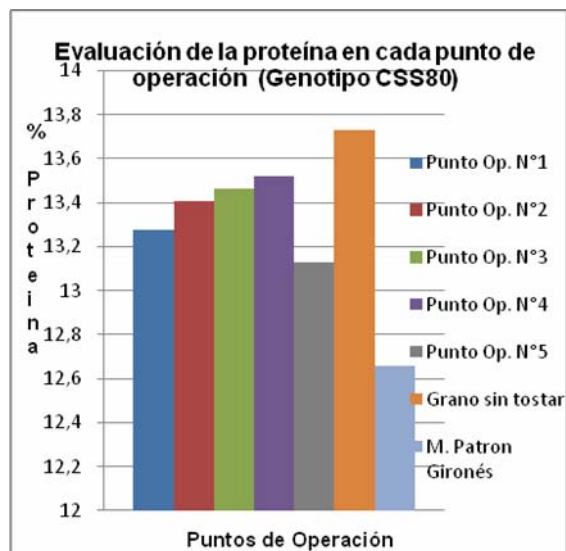


Figura 7. %A. acético en cada punto de operación

Se realizó un análisis ANOVA, para estudiar la variable %proteína y %A. Acético en cada punto de operación (Ver Anexo 10).

Análisis de los puntos de operación, según el %proteínas:

Al aplicar el análisis de ANOVA a la variable proteína evaluada en los cinco puntos de operación de la tabla 2 y comparándolas con una muestra sin tostar y con la muestra de Industria Girones S.A, se observo que entre cada uno de los puntos de operación la variación significativa se presenta entre los pares de puntos: (P5 y P2); (P5 y P3); (P5 y P4) y (P5 y la muestra sin tostar).

La muestra patrón proporcionada por Chocolate Girones presento el menor contenido de proteína; esto indica intensidad de sabores agradables con respecto a los clones estudiados. Se observo un contenido proteico bajo para el punto de operación 5, que presento un compartimiento no afín a los otros estudiados. La diferencia radica en la temperatura empleada ya que por encima de 140°C se lleva a cabo la degradación de proteínas. Por otra parte WITT asegura que a mayor cantidad de proteínas, mayor sabor astringente y menor es la formación de aroma en el cacao.⁸

Análisis de los puntos de operación según el %Acido Acético:

Para los genotipos estudiados, se encontró que el nivel de acidez no varía considerablemente con relación a la temperatura a la que se efectuó el proceso de tostado, presentándose niveles similares de acido acético para todas las muestras. La muestra patrón proporcionada por Girones posee un nivel de acides considerablemente mayor; perjudicándola en comparación con el clon CSS80, ya que uno de los propósitos del tostado es disminuir el contenido de acido acético para proporcionar una mejor aroma y sabor. Se encontró que el menor valor de acido acético era el presentado por la muestra tostada a mayor temperatura (punto de operación 5). Un análisis más minucioso por medio de ANOVA se presenta en el Anexo 10

⁸ WITT. K.W, Nitrogen Metabolism In Fermenting And Roasting Cacao Report Cacao Research. TRINIDAD 1956. p. 54-57.

4.5. CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA A LAS MUESTRAS DE CSS80, SUI32 Y LA MUESTRA PATRÓN (INDUSTRIA CHOCOLATERA GIRONES S.A.).

Tabla 3. Características fisicoquímicas de los Genotipos Estudiados

Características Fisicoquímicas	Genotipos Estudiados		
	CSS80	SUI32	Muestra Ind. Gironés
pH cotiledón.	5,04	4,9	-----
% Cascarilla	13,2	16,1	-----
% Cenizas	3,28	3,14	2,76
% Grasa	49,77	54,69	57,29
% Proteína	13,73	13,6	12,65
% Fibra	1,97	1,64	2,95
% A. Acético	1,74	1,667	1,97

Entre las características notorias de los genotipos CSS80 y SUI32, están la baja acidez que poseen. Esto podría ser una característica satisfactoria para el aprovechamiento de los genotipos en la fabricación de chocolates de calidad. El genotipo SUI32 se destaca por su alto contenido de grasa lo cual le confiere mayor valor agregado, por tal razón se podría ubicar como materia prima en la fabricación de productos cosméticos; también es poseedor de un gran % de cascarilla el cual puede ser aprovechado como materia prima para concentrados de animales. El contenido de proteína y de ácido acético no varía notoriamente entre los genotipos CSS80 y SUI32, por lo que la disminución de ácido acético y proteínas, en el tratamiento de tostado se puede presentar de manera similar. Un análisis más minucioso por medio de ANOVA se presenta en el Anexo 11

4.6. ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE TOSTADO EN UNA TOSTADORA PILOTO

Los tiempos de operación en la tostadora piloto se calcularon aplicando la ecuación⁹ (ver Anexo C) con los datos obtenidos de la tabla 3, ya que la etapa II de las curvas de secado describe el proceso de tostado.

Operar la unidad de tostado a temperaturas altas (140°C y 150°C), favorece la degradación de proteínas y la disminución de la acidez, lo cual evita que se formen sabores desagradables en el cacao.¹⁰ Los resultados de cada punto de operación se pueden observar en el Anexo 9.1. Por lo tanto se determino para la tostadora un punto de operación óptimo a las siguientes condiciones:

°T = 150 °C y Tiempo operación = 20 min.

⁹TREYBAL R. "Operaciones de transferencia de masa". Capítulo 12. 2° Edición Rhode Island : Mc Graw Hill . p. 738 – 741. ISBN 968-6046-34 8

¹⁰ T. RHOAN, T. STEWART, The Precursor of Chocolate Aroma: Changes in the Free Amino Acids During the Roasting of Cocoa Beans / Journal Food Sci. No. 32. USA. 1967. p . 395-398.

5. CONCLUSIONES

Los clones CSS80 y SUI32 estudiados cumplen con los parámetros de calidad de porcentaje de cascarilla y porcentaje de proteína determinados por la compañía nacional de chocolates. El clon CSS80 cumple además con los parámetros de pH y el SUI32 se encuentra en el rango establecido para porcentaje de grasa. Ninguno de clones alcanzo el porcentaje de fibra requerido por la C.N.CH.

El consumo energético del proceso de tostado para la tostadora piloto es menor para el punto de operación 5 (150°C por un tiempo de 20 minutos), el cual presenta además la mayor degradación de proteínas y el menor contenido de ácido acético estableciéndolo como el punto de operación óptimo para este proceso.

A pesar de que el pH del cotiledón para los genotipos CSS80 y SUI32 era inicialmente bajo, al realizar el proceso a las condiciones especificadas se logro una disminución considerable en la acidez de los granos; obteniéndose un porcentaje de ácido acético inferior al de la muestra comercial para los 5 puntos de operación con el genotipo CSS80.

Las curvas de secado elaboradas para los genotipos CSS80 y SUI32 describen comportamientos muy similares para cada isoterma; permitiendo emplear las mismas condiciones de tiempo de proceso y temperatura para ambos clones con resultados altamente satisfactorios.

El porcentaje de grasa, fibra y cenizas permanece constante para los genotipos CSS80 y SUI32 a lo largo del proceso de beneficio para todos los puntos de operación; garantizando el contenido nutricional del grano desde la etapa de secado hasta el final del proceso de tostado.

6. RECOMENDACIONES

Se sugiere continuar la investigación con análisis cuantitativos detallados de azúcares, proteínas y ácidos en los clones CSS80 y SUI32, además de un estudio organoléptico como complemento de este trabajo para caracterizar su aroma y sabor y determinar la viabilidad de implementación de estos genotipos en la industria de chocolates finos, o su incursión en otros sectores como cosmetología o producción de concentrados para animales

Se recomienda implementar las condiciones de operación del P. Op # 5 (150°C y 20 minutos) para el proceso de tostado que presentaron los mejores resultados de consumo energético, contenido proteico y porcentaje de ácido acético.

Se debe determinar el % de proteínas y de ácido acético para el genotipo SUI32 para complementar el estudio realizado al genotipo CSS80

BIBLIOGRAFÍA

ARGUELLO, C. O. Características morfo agronómicas de clones de cacao. En: Tecnología para el mejoramiento del sistema de producción de cacao. CORPOICA. Bucaramanga, Colombia. p. 55, 59-61, 64. 2000.

BERNAL Inés. Análisis de alimentos. Bogotá: Editorial Guadalupe Ltda. 1993.p. 54-147.

GODÍNEZ, L. Estudio del comportamiento de azúcares y aminoácidos durante la fermentación y tostación del cacao, aplicando técnicas cromatografías. Puebla, México 1970. Trabajo de grado (Químico). Universidad Autónoma de Puebla.

GUTIÉRREZ, H. Análisis y diseño de experimentos. Mc Graw Hill México 2008. p. 62-92.

KRYSIAK W.; Influence of roasting conditions on coloration of roasted cocoa beans En: Elsevier [en línea]. (13 sep.2005). Disponible en: <<http://www.elsevier.com/locate/jfoodeng>>[citado el 13 septiembre 2005]

MORENO N.; DURAN T. Evaluación de la variación del perfil ácido del grano de cacao durante los procesos de fermentación y secado. Bucaramanga. 1999. Trabajo de grado (Químico) Universidad Industrial de Santander.

MORENO W. Aplicaciones al diseño y análisis de experimentos. Ediciones UIS, Bucaramanga, Colombia. 1993. p.23-45.

PEREA, Aidé. Contribución al estudio y mejoramiento del proceso de fermentación del cacao.VII CONGRESO COLOMBIANO DE QUÍMICA (1989: Bucaramanga). UIS. p 1-11.

PINZÓN. J; ROJAS. J; ROJAS. F; Guía Técnica para el Cultivo del Cacao. Federación Nacional de Cacaoteros. 2009.

ROHAN, T. A. , STEWART. T., Precursors of Chocolate Aroma: Studies in the Degradation of Amino Acid During the Roasting of Accra Cocoa Beans / J. Food Sci. No. 32. USA.1967.p .202-205

ROHAN, T. STEWART, The Precursor of Chocolate Aroma: Changes in the Free Amino Acids During the Roasting of Cocoa Beans / Journal Food Sci. No. 32. USA. 1967. p . 395-398

ROHAN T.A; STEWART T. "Beneficio del cacao bruto destinado al mercado" FAO. Italia, 1964.

TREYBAL, Robert. Operaciones de transferencia de masa 2ª Edición. Rhode Island: Mc Graw Hill. p. 738 – 741. ISBN 968-6046-34 8.

A.O.A.C. The official and recommended practices of the American Lo Chesmest's Society.1987.

WITT. K.W. Nitrogen Metabolism in Fermenting And Roasting Cacao: Report Cacao Research. TRINIDAD, 1956. p. 54-57.

ANEXOS

ANEXO 1. GENOTIPOS DE ESTUDIO.

Mazorcas CSS80.



Mazorcas SUI32.



Grano CSS80.



Grano SUI32.



ANEXO 1.1 Características morfológicas de los genotipos de estudio.

Características	Genotipos	
	CSS80	SUI32
Morfológicas		
Nombre:	CORPOICA Selección Suiza 80	Selección Urabá Introducido 32
Origen:	Colombia	Colombia
Compatibilidad:	-----	-----
Forma de la mazorca:	Angoleta	Angoleta
Color de la mazorca:	Amarilla	Roja
Color de la semilla:	Violeta	Violeta
Forma de la semilla	Cilíndrica	Cilíndrica
Peso de la semilla (gr):	1,9	1,6
Nº almendras/mazorca:	43	45
Nº mazorca/árbol/año:	57	50
Resistencia a monilia:	Moderadamente	Moderadamente
Resistencia a escoba de bruja:	Moderadamente	Moderadamente
Grados °Brix	19	22

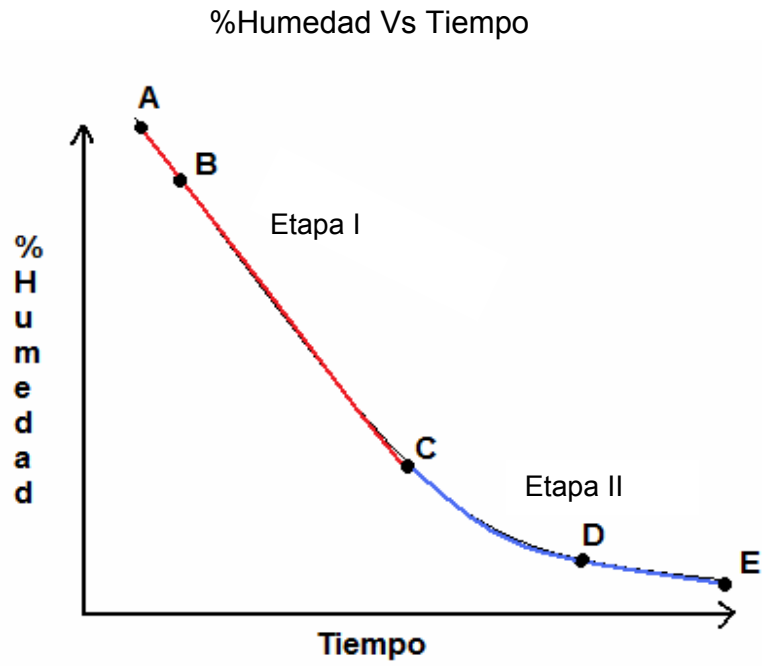
Fuente: **CORPOICA**

ANEXO 2. PARÁMETROS DE CALIDAD DE GRANOS FERMENTADOS Y SECOS

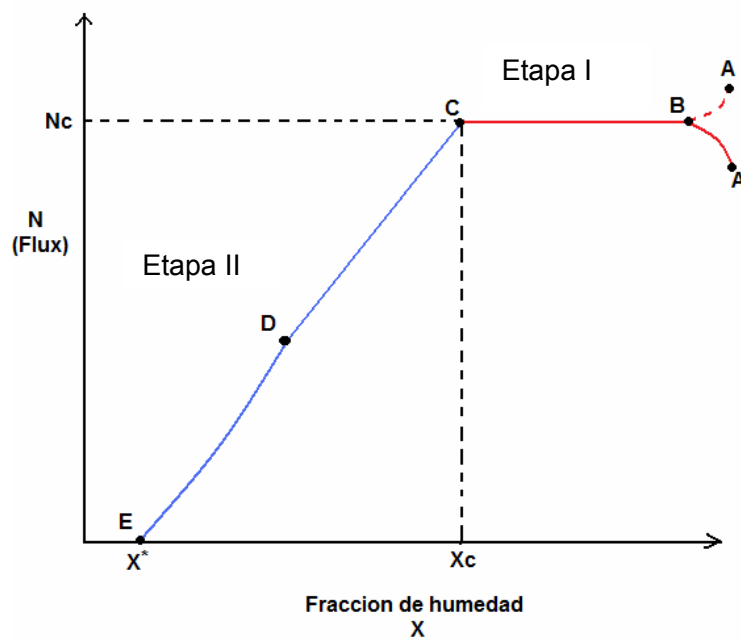
	Bajo	Normal	Alto
Porcentaje de grasa	<52	55	>55
Porcentaje de cascarilla	<11	12	>12
Porcentaje de fibra	2	5	>6
porcentaje de proteína	11	14	
Tamaño de grano	<1,05	1,2	>1,2
Porcentaje de humedad	6,6	8	>8
pH	<5	5,5	>5,5

Fuente: Departamento de Fomento. Compañía Nacional de Chocolates. Bucaramanga. 2004.

ANEXO 3. COMPORTAMIENTO DE UNA CURVA TÍPICA DE SECADO (%HUMEDAD VS TIEMPO).



Densidad de Flujo de Humedad Vs Fracción



Anexo 3.1 Comportamiento de una curva típica de secado (%humedad vs tiempo).

Flux ó densidad de flujo de humedad “ N_{Flux} ”: Es la velocidad con la que cierta masa atraviesa un área determinada.

$$N_{Flux} = S_s * \frac{1}{A} * \left(\frac{\Delta X}{\Delta \Theta} \right) \quad (7) \quad N_{Flux} [=] \frac{gr}{cm^2} * \left(\frac{1}{min} \right)$$

S_s : masa del solido seco ; A: área de transferencia ; ΔX : Delta en la fracción de humedad; $\Delta \Theta$: Delta de tiempo.

Fracción de Humedad Crítica “ X_c ”: punto en el cual el flux N_c deja de ser contante.

Fracción de equilibrio “ X^* ”: Fracción a la cual el secado se detiene.

Tiempo de Operación en el Secado¹¹:

Ecuaciones para hallar Tiempo de Operación en el Secado.

Secado en la Etapa 1	Secado en la etapa II
$\Theta = S_s * \frac{(X_i - X_f)}{N_c * A t}$	$\Theta = S_s * \frac{(X_c - X^*)}{N_c * A} * Ln\left(\frac{X_i - X^*}{X_f - X^*}\right)$

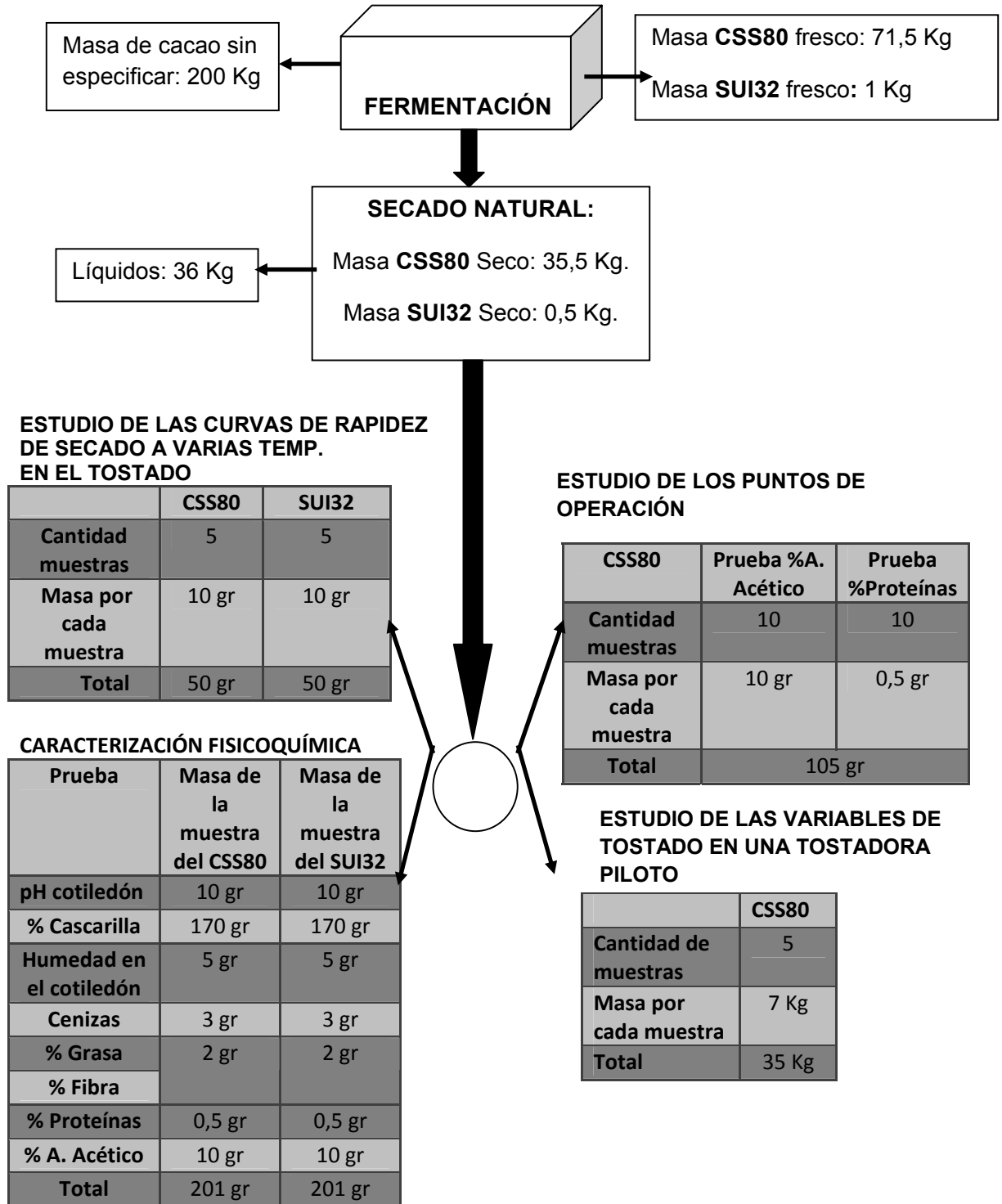
Fuente: TREYBAL R., Operaciones de transferencia de masa. Capitulo Secado. 2° Edición.

Ecuación que modela el fenómeno de tostado en el grano de cacao

$$\Theta = S_s * \frac{(X_c - X^*)}{N_c * A t} * Ln\left(\frac{X_i - X^*}{X_f - X^*}\right)$$

¹¹ TREYBAL R. Operaciones de transferencia de masa. Capitulo 12. 2° Edición.

ANEXO 4. TOMA DE MUESTRAS DISTRIBUIDAS EN LOS PROCESOS DEL ESTUDIO.



ESTUDIO DE LAS CURVAS DE RAPIDEZ DE SECADO A VARIAS TEMP. EN EL TOSTADO

	CSS80	SUI32
Cantidad muestras	5	5
Masa por cada muestra	10 gr	10 gr
Total	50 gr	50 gr

ESTUDIO DE LOS PUNTOS DE OPERACIÓN

CSS80	Prueba %A. Acético	Prueba %Proteínas
Cantidad muestras	10	10
Masa por cada muestra	10 gr	0,5 gr
Total	105 gr	

CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA

Prueba	Masa de la muestra del CSS80	Masa de la muestra del SUI32
pH cotiledón	10 gr	10 gr
% Cascarilla	170 gr	170 gr
Humedad en el cotiledón	5 gr	5 gr
Cenizas	3 gr	3 gr
% Grasa	2 gr	2 gr
% Fibra		
% Proteínas	0,5 gr	0,5 gr
% A. Acético	10 gr	10 gr
Total	201 gr	201 gr

ESTUDIO DE LAS VARIABLES DE TOSTADO EN UNA TOSTADORA PILOTO

	CSS80
Cantidad de muestras	5
Masa por cada muestra	7 Kg
Total	35 Kg

ANEXO 5. BENEFICIO DEL CACAO

RECOLECCIÓN



DESGRANADA



FERMENTACIÓN



FERMENTADOR:

Se hizo en un fermentador tipo cajón.

Dimensiones del fermentador:

Alto (m): 0,6

Ancho (m): 0,4

Largo (m): 1

Capacidad (kg): 350

SECADO



SECADO:

Se hizo un secado natural.

Dimensiones un plato de la casaelba:

Alto (m): 0,2

Ancho (m): 5

Largo (m): 5

Capacidad (kg): 350

**ANEXO 6. TABLA DE DATOS DE %HUMEDAD VS TIEMPO DE TOSTADO
CSS80 PARA EL RANGO DE 105°C – 125°C**

temperatura 105°C		temperatura 115°C		temperatura 125°C	
TIEMPO (min)	%H MUESTRA	TIEMPO (min)	% H MUESTRA	TIEMPO (min)	% H MUESTRA
3	7,64	4	7,5	5	6,84
7	7,19	10	6,58	10	5,27
12	6,65	15	5,55	16	3,76
15	6,35	20	4,64	18	3,53
20	5,93	25	3,96	21	3,07
25	5,53	30	3,45	22	2,98
30	5,14	35	3,07	24	2,75
35	4,83	40	2,75	26	2,54
40	4,55	45	2,5	28	2,34
45	4,33	50	2,31	31	2,08
50	4,13	55	2,1	35	1,88
55	3,93	60	1,96	38	1,7
60	3,77	65	1,8	40	1,61
65	3,63	70	1,72	42	1,5
70	3,46	75	1,61	45	1,41
75	3,35	80	1,51	48	1,32
80	3,23	85	1,42	50	1,27
85	3,12	90	1,34	52	1,18
90	3,04	95	1,26	54	1,12
100	2,84	100	1,21	57	1,06
110	2,73	105	1,13	60	0,98
110	1,07	63	0,92	115	0,27
120	2,47	110	1,07	63	0,92
130	2,16	115	1,02	65	0,86
135	1,98	120	0,97	68	0,8

TABLA DE DATOS DE %HUMEDAD VS TIEMPO DE TOSTADO CSS80 PARA EL RANGO DE 135°C – 150°C

temperatura 135 °C		temperatura 150 °C	
TIEMPO (min)	%H MUESTRA	TIEMPO (min)	%H MUESTRA
5	7.08	2	7.7
10	5.57	4	6.8
15	4.11	6	6.2
20	3.11	8	5.7
25	2.39	10	5.02
30	1.93	12	4.61
35	1.62	14	4.1
40	1.39	16	3.6
45	1.19	18	3.1
50	1.05	20	2.8
55	0.96	22	2.5
60	0.85	24	2.2
65	0.79	26	2
70	0.68	28	1.82
75	0.65	30	1.7
80	0.56	32	1.6
85	0.53	34	1.52
90	0.47	36	1.43
95	0.42	38	1.32
100	0.39	40	1.21
110	0.3	42	1.15
110	1.07	63	0.92
115	0.27	44	1.09
120	0.22	46	0.93
135	0.16	48	0.9
		50	0.85
		52	0.81
		54	0.78
		58	0.72
		60	0.71
		64	0.65
		68	0.63

ANEXO 7. TABLA DE DATOS DE %HUMEDAD VS TIEMPO DE TOSTADO SUI32

Temperatura 105		Temperatura 115		Temperatura 125		Temperatura 135	
TIEMPO (min)	% H EN LA MUESTRA	TIEMPO (min)	% H EN LA MUESTRA	TIEMPO (min)	% H EN LA MUESTRA	TIEMPO (min)	% H EN LA MUESTRA
3	7,64	4	7,5	5	6,84	5	7,08
7	7,19	10	6,58	10	5,27	10	5,57
12	6,65	15	5,55	16	3,76	15	4,11
15	6,35	20	4,64	18	3,53	20	3,11
20	5,93	25	3,96	21	3,07	25	2,39
25	5,53	30	3,45	22	2,98	30	1,93
30	5,14	35	3,07	24	2,75	35	1,62
35	4,83	40	2,75	26	2,54	40	1,39
40	4,55	45	2,5	28	2,34	45	1,19
45	4,33	50	2,31	31	2,08	50	1,05
50	4,13	55	2,1	35	1,88	55	0,96
55	3,93	60	1,96	38	1,7	60	0,85
60	3,77	65	1,8	40	1,61	65	0,79
65	3,63	70	1,72	42	1,5	70	0,68
70	3,46	75	1,61	45	1,41	75	0,65
75	3,35	80	1,51	48	1,32	80	0,56
80	3,23	85	1,42	50	1,27	85	0,53
85	3,12	90	1,34	52	1,18	90	0,47
90	3,04	95	1,26	54	1,12	95	0,42
100	2,84	100	1,21	57	1,06	100	0,39
110	2,73	105	1,13	60	0,98	110	0,3
120	2,47	110	1,07	63	0,92	115	0,27
130	2,16	115	1,02	65	0,86	120	0,22
135	1,98	120	0,97	68	0,8	135	0,16
				71	0,77		
				73	0,74		
				74	0,74		
				75	0,71		
				77	0,66		
				79	0,66		

ANEXO 8. DETERMINACIONES FISICOQUÍMICAS.

PH del Cotiledón: Método descrito por Jinap et al., (1990); Hola et al., (1992), así: 10g de muestra de cotiledones se pulverizaron y se mezclaron por cinco minutos con 100 ml de agua destilada caliente, en una licuadora. La mezcla se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró a través de un papel de filtro No 595. El pH del filtrado se midió con dos decimales de precisión en un potenciómetro electrónico.

Porcentaje de Cascarilla: Se pesó 100 granos de cacao tomados al azar descascarillándolos y pesándolos. El contenido de cascarilla se calculó como:

$$\% \text{ cascarilla} = \frac{\text{Peso grano con cascarilla} - \text{Peso grano sin cascarilla}}{\text{Peso grano con cascarilla}} * 100$$

Determinación de Humedad: Método descrito en la A.O.A.C. 7.003/84 y 930.15/90 adaptados. Se pesaron 5 g de muestra y se llevaron a una estufa a 105°C durante 4 horas, hasta peso constante. Se dejó enfriar en un desecador y se calculó el porcentaje de humedad por pérdida de peso:

$$\% \text{Humedad en el cotiledón} = \frac{\text{Peso inicial Muestra} - \text{Peso final Muestra}}{\text{Peso inicial Muestra}} * 100$$

La muestra obtenida se utilizó para la determinación de grasa.

Determinación de Cenizas: Se ciño al procedimiento descrito por la norma de la A.O.A.C. 7.009/84 y 942.05/90 adaptados: se pesaron aproximadamente 3 g de muestra en un crisol de porcelana. Se llevó el crisol a una mufla a 550°C durante 4 horas, se dejó enfriar y se pesó. Se calculó el porcentaje de cenizas teniendo en cuenta el peso del residuo:

$$\% \text{Cenizas} = \frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} * 100$$

Determinación de Grasa: Se ciñó al procedimiento de la A.O.A.C. 7.060/84 y 920.39/90 adaptados. Se tomaron 2 g de muestra seca y se hidrolizaron durante 15 minutos con 50 ml de una solución de HCl 1: 2,5. Posteriormente se filtró, y el residuo obtenido se lavó hasta fin de cloruros y se secó a 105 °C durante 2 horas. Seguidamente se extrajo la grasa con hexano en un extractor Soxhlet durante 7 horas, Posteriormente, se recuperó la mayor cantidad de disolvente por destilación, se secó y se dejó enfriar y después se pero el balón con extracto. Finalmente se calculó el porcentaje de grasa:

$$\%Grasa = \frac{\text{Peso balón con grasa} - \text{Peso balón}}{\text{Peso inicial muestra}} * 100$$

El residuo se guardó para el análisis posterior de fibra.

Determinación de Fibra: Se ciño al procedimiento de la norma ICONTEC 668 y la A.O.A.C. 7.066/84 y 962.09/90 adaptados: Se transfirió la muestra desengrasada a un vaso de digestión de 500 ml al cual se le adicionaron 100 ml de ácido sulfúrico al 1.25% y 5 gotas de alcohol isoamílico (antiespumante), dejándose hervir por 30 minutos. Luego se filtró al vacío y se lavó con agua destilada caliente hasta pH neutro. Se regresó el residuo obtenido al vaso de digestión y se adicionaron 100 ml de NaOH al 1.25% y 5 gotas del antiespumante. Se dejó hervir por 30 minutos y se filtró en papel de filtro cuantitativo previamente pesado, se lavó hasta pH neutro y se llevó a una estufa por 2 horas, se dejó enfriar y se pesó (peso A). El residuo obtenido se calcinó a 550°C durante 4 horas, se dejó enfriar y se pesó (peso B). Se determinó el porcentaje de fibra de la siguiente manera:

$$\%Fibra = \frac{\text{Peso A} - \text{Peso B}}{\text{Peso inicial muestra}} * 100$$

Determinación de Proteínas: La determinación de proteína se efectuó siguiendo el método de Kjeldahl-Gunning-Arnold adaptado Griffin 1965¹²: se pesó aproximadamente 0.5 g de muestra, se colocó en un tubo Kjeldahl, añadiéndosele una tableta de catalizador y 10 ml de ácido sulfúrico concentrado, se llevó al digestor y se calentó alrededor de 3 horas, luego se dejó enfriar. La solución contenida en el tubo Kjeldahl se le adicionó 50 ml de agua destilada y 150 ml de NaOH 32% y se llevó al destilador, haciéndose una destilación por arrastre con vapor. El hidróxido de amonio generado se recibió en 50 ml de ácido bórico que contenían 3 gotas de indicador mixto, hasta tener un volumen de destilado de 200 ml. El destilado se tituló con HCl 0.1N. Se calculó el porcentaje de nitrógeno:

$$\%N = \frac{\text{Volumen HCl}}{1000} * [\text{Normalidad HCl}] * 14 * \frac{100}{\text{Peso muestra}}$$

y finalmente el contenido de proteína utilizando la siguiente relación:

$$\%P = \%N (\text{total}) * 6.25$$

Acidez Titulable: La determinación de la acidez titulable se efectuó siguiendo el procedimiento descrito por Hola y Aston (1992): Una alícuota de 10 ml de filtrado obtenido en la determinación de pH, se diluyó con 10 ml de agua destilada y se tituló con NaOH 0.112 N hasta pH 8,0 utilizando un potenciómetro electrónico. La acidez titulable se expreso como porcentaje de ácido acético:

$$\% \text{Acido Acético} = \frac{\frac{\text{Volumen NaOH}}{1000} * [\text{Normalidad NaOH}] * 60 * 100 * 10}{\text{Peso muestra}}$$

¹² BERNAL I. ; "Análisis de alimentos". Editorial Guadalupe Ltda. 1993.

ANEXO 9. TOSTADORA PILOTO.



Características de la tostadora

Diámetro del tambor (D)	50 cm
Largo (L)	70 cm
Nº de rpm.	60
Consumo de energía eléctrica	0.89 Kw/h

ANEXO 9.1. Consumo de servicios industriales de la tostadora piloto

Punto de Operación	°T (°C)	Tiempo Operación (min)	%H _i	%H _f	m3 de gas consumido	Kw consumidos	Costo de la Operación
1	105	112	9,5	1,9	1,7	1,7	1824,1
2	115	48	9,5	2,2	0,9	0,7	895,7
3	125	29	9,5	2,5	0,45	0,4	465,35
4	135	25	9,5	2,1	0,3	0,38	349,9
5	150	21	9,5	2,5	0,3	0,3	321,9

Masa a tostar (kg)	7	costo unitario (Kw/h)/\$	350
Area de transferencia (cm2)	10996	costo unitario gas (m3/\$)	723

TARIFAS ESSA DICIEMBRE 2009. TARIFAS GASORIENTE DICIEMBRE 2009

ANEXO 10. RESULTADOS DE ANOVA PARA EL ANÁLISIS DE %PROTEÍNAS Y %A. ACÉTICO EN LOS PUNTOS DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE TOSTADO

Las hipótesis a evaluar fueron:

Hipótesis nula: H_0 = no Existe diferencias significativas de la variable %proteína ó %A. Acético entre los puntos de operación.

Se rechaza esta hipótesis si: $F_0 > F_{\text{Tabulado}}$. Siendo F_0 el estadístico calculado.
Se acepta esta hipótesis si: $F_0 < F_{\text{Tabulado}}$. Siendo F_0 el estadístico calculado

Hipótesis alterna: H_1 = Si existe diferencias de la variable %Proteína ó %A. Acético entre los puntos de operación.

Comparación Entre Puntos de Operación de la Variable %Proteínas.

Comparación	Suma de cuadrados de tratamiento	Suma de cuadrados del error	Estadístico F^p	Función F tabulada(1,2)	Diferencias Significativas Entre las Variables
P1 y P2	0,00163216	0,020602	0,158446753	18,5	No hay diferencia
P1 y P3	0,00024025	0,0206665	0,023250188	18,5	No hay diferencia
P1 y P4	0,00516961	0,02207242	0,468422583	18,5	No hay diferencia
P1 y P5	0,10067929	0,02095978	9,606903317	18,5	No hay diferencia
P1 y Muestra Girones	0,61968384	0,61838248	2,004208916	18,5	No hay diferencia
P1 y Muestra sin tostar	0,080656	0,033202	4,8585025	18,5	No hay diferencia
P2 y P3	0,00312481	0,0004645	13,45451023	18,5	No hay diferencia
P2 y P4	0,01261129	0,00187042	13,48498198	18,5	No hay diferencia
P2 y P5	0,07667361	0,00075778	202,3637731	18,5	Hay diferencia
P2 y Muestra Girones	0,55771024	0,59818048	1,864688864	18,5	No hay diferencia
P2 y Muestra sin tostar	0,10523536	0,013	16,19005538	18,5	No hay diferencia
P3 y P4	0,00318096	0,00193492	3,287949889	18,5	No hay diferencia
P3 y P5	0,11075584	0,00082228	269,3871674	18,5	Hay diferencia
P3 y Muestra Girones	0,64432729	0,59824498	2,154058326	18,5	No hay diferencia
P3 y Muestra sin tostar	0,07209225	0,0130645	11,03635807	18,5	No hay diferencia
P4 y P5	0,15147664	0,0022282	135,9632349	18,5	Hay diferencia
P4 Y Muestra Girones	0,73805281	0,5996509	2,461608279	18,5	No hay diferencia
P4 y Muestra sin tostar	0,04498641	0,01447042	6,21770619	18,5	No hay diferencia
P5 y muestra Girones	0,22080601	0,22080601	0,737817529	18,5	No hay diferencia
P5 y muestra sin tostar	0,36156169	0,01335778	54,13499698	18,5	Hay diferencia
Grados de libertad tratamiento= 1					
Grados de libertad error = 2					

Comparación Entre Puntos de Operación de la Variable %Acido Acético.

Comparación	Suma de cuadrados de tratamiento	Suma de cuadrados del error	Estadístico F ^o	Función F tabulada(1,2)	Diferencia Significancia Entre las Variables
P1 y P2	0,01716	0,001194	28,73143699	18,5	<u>Hay diferencia</u>
P1 y P3	0,01597696	0,0022346	14,29961514	18,5	No hay diferencia
P1 y P4	0,00345744	0,00447236	1,546136715	18,5	No hay diferencia
P1 y P5	0,03904576	0,00152596	51,1753388	18,5	<u>Hay diferencia</u>
P1 y Muestra Girones	0,15856324	0,00790946	40,09458041	18,5	<u>Hay diferencia</u>
P1 y Muestra sin tostar	0,00442225	0,0031594	2,799423941	18,5	No hay diferencia
P2 y P3	2,116E-05	0,00144002	0,029388481	18,5	No hay diferencia
P2 y P4	0,00521284	0,00367778	2,834775326	18,5	No hay diferencia
P2 y P5	0,00443556	0,00073138	12,12928984	18,5	No hay diferencia
P2 y Muestra girones	0,28005264	0,00711488	78,72308177	18,5	<u>Hay diferencia</u>
P2 y Muestra sin tostar	0,03900625	0,00236482	32,9887687	18,5	<u>Hay diferencia</u>
P3 y P4	0,00456976	0,0047178	1,937241935	18,5	No hay diferencia
P3 y P5	0,00506944	0,0017714	5,723653607	18,5	No hay diferencia
P3 y Muestra girones	0,27520516	0,0081549	67,49442912	18,5	<u>Hay diferencia</u>
P3 y Muestra sin tostar	0,03721041	0,00340484	21,85736187	18,5	<u>Hay diferencia</u>
P4 y P5	0,01926544	0,00400916	9,610711471	18,5	No hay diferencia
P4 Y Muestra Girones	0,208849	0,01039266	40,19163525	18,5	<u>Hay diferencia</u>
P4 y Muestra sin tostar	0,01570009	0,0056426	5,564842449	18,5	No hay diferencia
P5 y muestra Girones	0,35497764	0,00744626	95,34387464	18,5	<u>Hay diferencia</u>
P5 y muestra sin tostar	0,06974881	0,0026962	51,73860248	18,5	<u>Hay diferencia</u>
Grados de libertad tratamiento= 1					
Grados de libertad error = 2					

ANEXO 11. RESULTADOS DE ANOVA PARA EL ANÁLISIS DE LAS VARIABLES FÍSICOQUÍMICAS DE CADA GENOTIPO ESTUDIADO.

<i>pH</i>					
Comparación	Suma de cuadrados de tratamiento	Suma de cuadrados del error	Estadístico F°	Función F tabulada(1,2)	Significancia entre variables
CSS80 y SUI32	0,0196	0,0832	0,47115385	F tab= 10,13	<u>No hay diferencia</u>
CSS80 y Muestra Girones	0,01	0,2624	0,07621951	F tab= 10,14	<u>No hay diferencia</u>
SUI32 y Muestra Girones	0,0016	0,3392	0,00943396	F tab= 10,15	No hay diferencia
<i>% Cascarina</i>					
Comparación	Suma de cuadrados de tratamiento	Suma de cuadrados del error	Estadístico F°	Funcion F tabulada(1,2)	Significancia entre variables
CSS80 y SUI32	8,41	0,26	64,6923077	F tab= 10,13	<u>Hay diferencia</u>
<i>% Grasa</i>					
Comparación	Suma de cuadrados de tratamiento	Suma de cuadrados del error	Estadístico F°	Función F tabulada(1,2)	Significancia entre variables
CSS80 y SUI32	24,2064	0,218	222,077064	F tab= 10,13	<u>Hay diferencia</u>
CSS80 y Muestra Girones	56,1001	0,197	569,544162	F tab= 10,14	<u>Hay diferencia</u>
SUI32 y Muestra Girones	6,6049	0,1234	107,048622	F tab= 10,15	<u>Hay diferencia</u>
<i>% Proteína</i>					
Comparación	Suma de cuadrados de tratamiento	Suma de cuadrados del error	Estadístico F°	Función F tabulada(1,2)	Significancia entre variables
CSS80 y SUI32	0,0169	0,0218	1,55045872	F tab= 10,13	<u>No hay diferencia</u>
CSS80 y Muestra Girones	1,1664	0,0068	343,058824	F tab= 10,13	<u>Hay diferencia</u>
SUI32 y Muestra Girones	0,9025	0,025	72,2	F tab= 10,13	<u>Hay diferencia</u>
<i>% Fibra</i>					
Comparación	Suma de cuadrados de tratamiento	Suma de cuadrados del error	Estadístico F°	Función F tabulada(1,2)	Significancia entre variables
CSS80 y SUI32	0,1089	0,0004	544,5	F tab= 10,13	<u>Hay diferencia</u>
CSS80 y Muestra Girones	0,9604	0,001	1920,8	F tab= 10,13	<u>Hay diferencia</u>
SUI32 y Muestra Girones	1,7161	0,001	3432,2	F tab= 10,13	<u>Hay diferencia</u>
<i>% A. Acético.</i>					
Comparación	Suma de cuadrados de tratamiento	Suma de cuadrados del error	Estadístico F°	Función F tabulada(1,2)	Significancia entre variables
CSS80 y SUI32	0,005329	0,000818	9,0293399	F tab= 10,13	<u>No hay diferencia</u>
CSS80 y Muestra Girones	0,0529	0,001	105,8	F tab= 10,13	<u>Hay diferencia</u>
SUI32 y Muestra Girones	0,091809	0,000218	842,284404	F tab= 10,13	<u>Hay diferencia</u>
Grados de libertad tratamiento= 1					
Grados de libertad error = 2					