



# Universidad Nacional Autónoma de México

---

Facultad de Química

Estimaciones Técnicas y Económicas para  
Efectos de Selección de una Planta  
Beneficiadora de Cacao

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUIMICO

p r e s e n t a :

Juan Manuel Muñoz Aguilar

1978



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CLAS. TESIS 1978  
ABQ. M.T. 30 301  
FECHA \_\_\_\_\_  
PREC \_\_\_\_\_  
S \_\_\_\_\_



PRESIDENTE: Guillermo Hernández Angeles

VOCAL: José Luis Padilla de Alba

Jurado asignado originalmente según el tema

SECRETARIO: Carlos Romo Medrano

1er. SUPLENTE: Alfonso Franyutti Altamirano

2do. SUPLENTE: Roberto Contreras Reyes

Sitio donde se desarrolló el tema: COMISION NACIONAL DEL CACAO

Sustentante: JUAN MANUEL MUÑOZ AGUILAR

Asesor del tema: CARLOS ROMO MEDRANO

Quiero agradecer su valiosa ayuda y desinteresada cooperación

para la realización de este trabajo, a las siguientes personas:

Sr. Ing. Adolfo Pérez Serrano

Sr. Quim. Carlos Romo Medrano

Sr. Ing. Juan Muñoz Ortega

A MIS PADRES Y

A MI TIA.

## INDICE GENERAL

	PAGINA
CAPITULO 1	
GENERALIDADES	1
CAPITULO 2	
BENEFICIO DEL CACAO	11
CAPITULO 3	
ASPECTOS QUIMICOS DEL BENEFICIO	19
CAPITULO 4	
ALTERNATIVAS TECNICAS EN EL PROCESO DE BENEFICIO	38
CAPITULO 5	
REQUERIMIENTOS DE PLANTAS BENEFICIADORAS DE DIFERENTES CAPACIDADES.	78
CAPITULO 6	
ESTIMACION DE LA INVERSION Y DE LOS COSTOS DE PRODUCCION.	97
CAPITULO 7	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	110

## CAPITULO 1

### GENERALIDADES

#### 1. CARACTERES GENERALES DEL CACAO

##### 1.1 CARACTERES BOTANICOS DE LA PLANTA

El cacao tiene por nombre botánico el de Theobroma Cacao L., pertenece a la familia de las Esterculiáceas; es un árbol que puede llegar a una altura hasta de 10 metros, pero ordinariamente mide de 3 a 5 metros.

La raíz es pivotante y de un color rojizo y algo áspera.

El tronco es mas o menos derecho, con corteza grisáceo-rojiza, o de color canela oscura. La madera es blanca y quebradiza; la copa redondeada y espesa.

Las hojas son grandes, pueden llegar a tener de 20 a 45 centímetros de largo y de 7 a 15 cms., de ancho; son alternas - ovaladas y pecioladas, provistas de estípulas caducas, de -- bordes lisos, de color verde brillante, cuando las hojas son jóvenes tienen un matiz rojizo, ya que están cubiertas de ve llos de color rojizo.

Las flores son hermafroditas, pequeñas y numerosas, de color rojizo o amarillo, dispuestas solitarias o en un grupo que nacen en las axilas de las hojas, en las ramas y en el tallo. El cáliz está formado por 5 sépalos, la corola por 5 pétalos de color amarillo pálido, la flor tiene 10 estambres y un ovario súpero.

El fruto es una baya carnosa, llamado vulgarmente mazorca.

El color de la corteza o cáscara de la mazorca es verde, amarillo o rojizo según la especie. El interior está rodeado por una pulpa blanca y los granos se encuentran unidos a la prolongación del pedúnculo por una saliente o placenta.

El color y forma de los granos es variable según la especie. La película que los rodea es de color rojizo cuando se seca. El color interior de los granos es entre blanco y violeta según la especie o también puede presentarse un matiz rojizo.

## 1.2 PANORAMA HISTORICO DE LA FORMACION DE LAS VARIEDADES EN --- CULTIVO.

Existen muchos datos históricos que nos enseñan que cuando los españoles llegaron por primera vez a las tierras tropicales de Tabasco y Veracruz, los naturales del Imperio Mexicano

tenían en cultivo distintas variedades de cacao. Francisco Hernández desde fines del Siglo XVI, observó en México la existencia de cuatro variedades de cacao, diferenciadas por el tamaño y características del árbol y por el color, tamaño y forma del fruto, así como por las almendras. Esas variedades eran; "Quauhcacahoatl" producida por un cacaotero de porte mayor y de fruto grande, la 2da. variedad era la "Mecacahoatl" caracterizada por un árbol de tamaño mediano y de ramas extendidas, con frutos de regular tamaño; la 3a. variedad "Xochicacahoatl", constituida por un árbol de menor tamaño, con frutos pequeños, de almendras rojizas en el exterior y la 4a. "Tlacacahoatl", que era la mas pequeña - de todas en cuanto al árbol y a la mazorca.

Posteriormente, como la almendra del cacao se usaba como moneda y para hacer el "Chocolatl", bebida que no llevaba azúcar, algunas variedades fueron desapareciendo del cultivo, al seleccionar a través de los siglos, solamente mazorcas que tuvieran almendras grandes y de sabor dulzón y aromático, para dar así lugar a la variedad que actualmente recibe el nombre de cacao "Criollo".

### 1.3 VARIEDADES DE CACAO CULTIVADAS

Botánicamente hasta hace unos cuantos años se consideraban tres especies distintas de cacaos comerciales. El "Cacao Criollo" se adscribía al Theobroma Cacao L.; el "Cacao - - Calabacillo" y el "Cacao Amelonado" a la especie Theobroma Leiocarpum Berm., y al "Cacao Lagarto" se le consideraba como Theobroma Pentagoum Berm. Aun más a un cacao sumamente redondo del grupo "Calabacillo" se le describió como Teobroma Sphaeronema, Chev de ejemplares encontrados en el Africa. Actualmente, la tendencia de la mayoría de los taxonomistas modernos, que han estudiado mas a fondo las relaciones filológicas de las distintas variedades de los cacaos cultivados comercialmente, consiste en considerar a todas estas variedades pertenecientes a una única especie; Theobroma - Cacao L., con la s cuatro distintas formas; "Calabacillos", "Amelonados", "Lagartos" y "Criollos".

Comercialmente, también hace unos cuantos años, las variedades de cacao cultivados se clasificaban internacionalmente como "Cacao Lagarto", "Criollo", "Angoleta", "Cundeamor", "Amelonado" y "Calabacillo", de acuerdo con la calidad de las almendras, la relación diámetro-longitud del fruto y por las rugosidades de la cáscara, así como por la profundidad de los surcos de la mazorca. Sin embargo esta clasificación resultaba demasiado confusa, debido a que no exis

tían límites definidos que diferenciaran prácticamente una variedad de la otra y por esta causa, muchas formas de fruto quedaban fuera de clasificación o incluidas en dos de ellas.

Por esta razón, se propuso la clasificación de todos los cacaos cultivados en solamente dos grupos;

"Cacaos Criollos" y "Cacaos Forasteros",

El primer grupo comprende solamente al cacao "Lagarto" y al cacao "Criollo" propiamente dicho y el de los "Forasteros", a todos los demás.

El "Cacao Criollo" lleva ese nombre no por ser nativo de tal o cual lugar, puesto que hasta la fecha ha sido muy difícil dilucidar el país donde se originó, además se consideran varios cacaos "Criollos", de acuerdo con el lugar donde se cultivan y por ciertas particularidades. Así por ejemplo, tenemos el cacao "Criollo" de México y Centro América, y los cacaos "Criollos" de Sudamérica. Anteriormente existía además otro cacao "Criollo" que se nombraba "Rojo de Java".

Descripción de las variedades de cacao cultivados en México.

En Tabasco y en la parte de Chiapas cercana a Pichucalco - las plantaciones mas antiguas son de la variedad "Criollo". Todos los agricultores opinan que esta es la causa de las bajas producciones y los registros indican rendimiento que varían entre 100 y 250 gramos de cacao seco por árbol anual mente.

Las plantaciones mas recientes son de distinta clase, la - llamada "ceilán", la cual indudablemente es más vigorosa, mejor adaptada a la región y sobre todo, más productiva que el "Criollo".

En el Distrito de Soconusco hay una mayor variedad de tipos. Ahí también se encuentra el cacao "Criollo" en mejores con diciones que en la región anteriormente señalada, producien do mejores rendimientos, pero los árboles notablemente mas productores pertenecen a una variedad llamada localmente - "Costa Rica" o "Sánchez" la cual, por desgracia, es de muy mala calidad, aunque vigorosa. Entre el "Criollo" y el - - "Costa Rica" existen, también en la zona, una gama de tipos de cacao gradualmente intermedios llamados "Injerto", los cuales, superficialmente, se parecen a la mezcla "Ceilán" de Tabasco.

En las dos regiones, pero con mayor abundancia en la de - - Soconusco, se encuentra el magnífico tipo de cacao "Lagarto".

## CACAO CRIOLLO

Se considera que en Sudamérica existen principalmente dos tipos de cacaos "Criollos"; el "Legítimo de Venezuela" de color púrpura o rojo, el otro de color verde pálido que existe en el mismo territorio venezolano y en Colombia. Estos cacaos "Criollos" se consideran que tiene frutos mas verrugosos y de ápices mas largos y encorvados que el cacao "Criollo" de México.

Vamos a tratar de describir someramente las mazorcas del cacao "Criollo" de México:

1. Son de tamaño mediano
2. De cáscara rugosa con 10 costillas longitudinales formadas por surcos que se profundizan alternativamente.
3. Frutos anchos hacia la base, sin contricción (cuello botella).
4. Frutos terminados en punta aguda y pentagonal ligeramente recurvada.
5. La cáscara es delgada y suave a la penetración.
6. El color de la cáscara de la mazorca puede ser amarillo, verde, anaranjado, rojo y algunas veces púrpura.
7. Las almendras, sin secarse, son casi redondas en su corte transversal central, de forma oblonga y de color blanquizco o amarillento.

## CACAO "SANCHEZ" O "COSTA RICA"

Este tipo de cacao es lo que internacionalmente se conoce como cacao "calabacillo", por la forma esférica de las mazorcas, con cáscara lisa, delgada y dura a la penetración; de color amarillo o verde, con ligero tinte rojizo. Sus almendras son aplastadas y de color morado oscuro, con un sabor amargo y astringente.

Al árbol se le considera de gran producción y de mayor variación en sus requerimientos de clima y suelo. Es de bastante follaje, muy prolífico en el brotamiento de "chupones" y bastante vigoroso.

## "CACAO CEILAN O INJERTO"

Este cacao prácticamente no constituye una variedad, puesto que es el producto de cruzamientos naturales entre el "Criollo" y el "Sánchez". Uno es el cacao "Ceilán" de Tabasco y Pichucalco y otro es el cacao "Injerto" del Soconusco, porque, habiéndose desarrollado separadamente, en cada una de estas mezclas de cacao han entrado diferentes porcentajes de sangres de "Criollo" y de "Costa Rica".

El "Injerto" del Soconusco es un cacao de un promedio de - calidad muy cercano al "Criollo" y de muy alta producción.

Como este cacao no es una variedad sino una mezcla, pudiéramos decir un híbrido, dando árboles que producen muchas mazorcas y otros que no producen una sola.

#### "CACAO LAGARTO"

Se llama cacao "lagarto" precisamente porque la cáscara del fruto presenta las rugosidades características de este saurio. Tienen la forma de un cuerno irregular con puntas agudas y encorvada.

Sus almendras se encuentran en número reducido dentro de la mazorca, pero de tamaño grande de forma oblonga y de color blanco amarillento.

El árbol de poco follaje en particular de hojas muy escasas. Por lo general se le ve enfermo por el ataque del "cáncer del tronco y de las ramas" y sufriendo ataques intensos de trips, de hormigas y de barrenadores del tronco. Su producción, hasta donde se ha observado, es muy escasa.

Se considera este cacao en cuanto a calidad como el mejor de cuantos se conocen en el mercado. Desgraciadamente, como ya se dijo, su producción es muy reducida y la calidad de sus almendras no le da un precio altamente diferenciativo para

que sea costeable su cultivo.

"CACAO NACIONAL DEL ECUADOR"

El cacao "Nacional" del Ecuador no forma parte de los -- "Criollos", más bien es de la clase mas alta de los llamados "Forasteros" en Sudamérica. Se caracteriza porque su mazorca es muy grande, de forma oblonga, con cáscara muy gruesa y lisa y generalmente de color amarillo. Es, pudí ramos decir, un tipo de cacao "Amelonado Gigante" por la forma y tamaño de su mazorca. Sus almendras son las mas grandes que se conocen entre los cacaos comerciales, casi del tamaño y forma de las del "Pataste", solamente que de color rosado violeta.

El árbol es de porte muy alto, el cual creciendo en su me dio mas favorable, presenta hojas grandes de ramas un po co escurrentes (caídas hacia los lados semejándose un po co a los "sauces llorones").

## CAPITULO 2

### BENEFICIO DEL CACAO

#### 2.1 DEFINICION DEL BENEFICIO DEL CACAO

Es el tratamiento del cacao bruto para un producto seco de mejor aspecto, con un desarrollo de los precursores del sabor y aroma del chocolate y que sea un producto con valor comercial.

#### 2.2 FORMAS DE BENEFICIO EN MEXICO

Una definición más general de beneficio es; serie de operaciones a que se somete un producto agrícola natural para convertirlo en un artículo comercializable.

En México existe una vieja costumbre que consiste en lavar el grano para eliminar el mucílago, recién extraídos los granos de la mazorca, y luego proceder a secarlos. El cacao que se obtiene de este proceso se le conoce como "cacao lavado", internacionalmente se le denomina "cacao no fermentado", ya que no se sometió al proceso fermentativo por lo que no desarrolló el sabor y aroma a chocolate.

La otra forma de beneficio del cacao es cuando el grano se somete a una fermentación y secado, el aspecto más importante en la fermentación es el desarrollo del sabor y aroma antes mencionados, este cacao se le conoce como "cacao fermentado".

De acuerdo a la primera definición cuando más adelante - hablemos sobre beneficio del cacao entenderemos como el proceso en el cual una etapa debe ser la de fermentación del grano.

El "cacao lavado" internacionalmente no es bien cotizado y está su precio por abajo del cacao fermentado, la causa principal de lavar el grano se remonta desde los tiempos prehispánicos, como se dijo en el capítulo anterior en México contábamos con cacao "Criollo". Este grano, muy poco pigmentado y aromático, no necesita de una larga fermentación, por lo que los antiguos lo lavaban para mejorar su aspecto, ya que se usaba como moneda. Se continuó con esta tradición y se obtenía un cacao de muy buena calidad. Tiempo después vino la introducción de un cacao más vigoroso, y más resistente a las enfermedades, el cacao "Forastero", un cacao que necesita una fermentación larga pero debido a la ignorancia de los productores se siguió tratando igual este cacao y no se usan las técnicas correctas dando lugar a un cacao no fermentado, siendo México uno de los pocos países que no fermenta en su totalidad su cacao.

Para obtener un producto con mayor valor agregado, y que compita en el mercado internacional, se ve la necesidad de fermentar nuestro cacao.

## 2.3 OPERACIONES FUNDAMENTALES EN EL BENEFICIO.

### 2. 3. 1. COSECHA

Es de suma importancia escoger sólo las mazorcas maduras, para llevar a buen término la fermentación. Existen pruebas experimentales que confirman la experiencia de que la cantidad y el rendimiento pueden sufrir menoscabo si se utilizan las mazorcas sobremaduras y las insuficientemente maduras., Lográndose sólo rendimientos óptimos al emplearse mazorcas maduras.

Es apreciable la madurez por el cambio de color que sufre la cáscara de la mazorca y por el sonido que emite cuando se le golpea con los dedos.

Las mazorcas verdes producen granos aplastados y arrugados, además de un elevado porcentaje de granos violetas y pizarrosos.

Con las mazorcas sobremaduras se corre el peligro de tener granos germinados.

Es recomendable que la cosecha se haga regularmente -- en períodos de 1 a 2 semanas, cortándose todas las mazorcas maduras y también las mazorcas enfermas que deberán ser -- separadas y apartarse de la plantación. El corte del pedúnculo se realiza utilizando un machete o un cuchillo, para las partes accesibles, o bien un dispositivo especial para las mazorcas que estén situadas en lo alto. Se debe tener cuidado de no herir el cojinete fructífero, que acogerá futuras fructificaciones, puesto que las heridas en el cojinete favorece la penetración de hongos que afectan la productividad del árbol.

#### 2. 3. 2. QUEBRADO Y DESGRANE

Para quebrar la mazorca se emplean varias técnicas: golpear la mazorca contra una roca o un pilar de madera, o -- ayudarse con un garrote o un machete. Se extraen los granos -- separándolos de la placenta y esta, conjuntamente con las cáscaras, se deben llevar lejos de la plantación para evitar la -- infestación de insectos y hongos a los árboles de cacao que -- propician estos restos.

La demora entre la recolección y la apertura de las mazorcas puede provocar un aumento más brusco de la temperatura y -- alcanzar temperaturas máximas más altas durante la fermentación.

### 2. 3. 3. FERMENTACION

Una demora de 24 horas entre el desgrane de las mazorcas y -  
la carga de los recipientes para la fermentación carecen de -  
efecto apreciable sobre la temperatura de fermentación o so-  
bre la calidad del producto.

La fermentación se inicia en el mismo momento en que se  
ponen en contacto la pulpa y los granos con el medio ambiente,  
comienzan a realizarse una serie de fenómenos espontáneos - -  
provocados por microorganismos que se necesitan dirigir o - -  
controlar correctamente para poder aprovecharse y obtener  
el producto deseado.

La mazorca está constituida por una capa protectora de los - -  
granos de cacao (cáscara) y en su interior se encuentra una -  
pulpa mucilaginosa de sabor agridulce que rodea a los granos -  
de cacao. Al abrirse la mazorca comienza el proceso de fermen-  
tación. Inicialmente es la pulpa mucilaginosa la que sufre las  
transformaciones enzimáticas y microbiológicas y posteriormente  
el mismo grano en su interior. En la pulpa se realizan proces-  
os de fermentación alcohólica, acética e inclusive láctica, por  
acción directa en los componentes mismos de la pulpa de las --  
levaduras y bacterias provenientes del ambiente, de los utensil-  
ios usados en esta operación, de la cáscara de la mazorca, etc.

Es muy importante que este proceso se realice correcta, regular y rápidamente, para que se provoque la fermentación del grano.

En la fermentación del grano se desencadena una serie de reacciones internas, controladas por las enzimas contenidas en los tejidos de los cotiledones. Se inicia con la muerte del germen, continúa con unas transformaciones químicas y físicas de los cotiledones, sigue en el proceso de secado y se completa en el tiempo de almacenamiento.

La acción del ácido acético y el calor generados en la fermentación de la pulpa provocan la muerte del embrión y, como consecuencia lógica, la pérdida del poder germinativo del grano. El ácido acético se difunde al interior del grano promoviendo la permeabilidad dentro de las células internas y propicia las reacciones internas entre los diferentes componentes que se encuentran en forma aislada dentro del grano.

En síntesis, los granos durante la fermentación debe sufrir una serie de transformaciones que tienen por objeto:

- Facilitar la pérdida de la pulpa mucilaginoso que rodea a los granos, con la finalidad de obtener un buen secado.

- Matar el embrión, para evitar la germinación de los granos y con esto posibilitar su conservación.
  
- Desencadenar profundas modificaciones bioquímicas en el interior del grano.
  
- El desprendimiento de los cotiledones y el desarrollo de los precursores del sabor y aroma a chocolate.

En el siguiente capítulo se presenta una descripción más amplia de los cambios que ocurren durante esta etapa.

#### 2. 3. 4. SECADO

Cuando la fermentación finaliza la humedad de todo el grano es, aproximadamente, de 60%. Esta humedad es necesario que se reduzca a menos del 8% antes de que el cacao se almacene. Si no hay una desecación después de la fermentación - continuaría esta, con el inicio de las fermentaciones pútridas y el desarrollo de mohos, haciendo este cacao un producto sin valor comercial.

Cuando la humedad se reduce demasiado la cáscara se vuelve excesivamente quebradiza, y cuando no se le reduce lo suficiente existe el peligro de que se desarrollen mohos durante el almacenamiento.

El modo más común de determinar se el cacao está suficientemente seco para poderse envasar y almacenar, consiste en comprimir un puñado de granos y escuchar el tronido característico que hace el cacao seco en tal caso. Este método se presta a errores cuando la cáscara del grano esta seco y en su interior existe una mayor humedad. Para evitar esto conviene ensayar la fragilidad de la cáscara después de que los granos lleven varias horas a la sombra. Un método más exacto sería la utilización de un higrómetro. Existen en el mercado higrómetros especiales para medir la humedad de los granos de cacao.

### CAPITULO 3

#### ASPECTOS QUIMICOS DEL BENEFICIO

#### 3. 1. COMPOSICION DEL CACAO FRESCO

##### 3. 2. 1 Composición de la Pulpa

La composición química de la pulpa varía con el grano de maduración, con la estación del año, la variedad de cacao, condiciones del suelo, etc. A continuación se presenta un cuadro con los promedios aproximados:

#### COMPOSICION DE LA PULPA DE CACAO\*

COMPONENTE	PORCENTAJE MEDIO
Agua	80 - 90
Albuminoides, astringentes, etc.	0.5 - 0.7
Glucosa	8.13
Sacarosa	0.4 - 1.0
Almidón	indicios
Acidos no volátiles (expresados en ácido tartárico)	0.2 - 0.4
Oxido de hierro	0.03
Sales (de potadio, sodio, calcio y magnesio)	0.4 - 0.45
Acidos volátiles	nada
Alcohol	nada

\* Según Nicholls (1913)

### 3. 1. 2 Composición de los Granos Maduros Frescos de Cacao

El grano de cacao consiste en una cubierta, cutícula, testa, cascarilla o tegumento que representa del 10 al 14 por ciento del peso en seco, y las almendras o cotiledones son casi todo el restante (86 - 90%). Las almendras son la que se utilizan para la fabricación de chocolate y semielaborados. Por lo cual la composición de las almendras es de mas importancia que la de la cascarilla y tiene una fuerte consideración con el sabor y aroma característicos del chocolate.

La concentración de cada componente dentro del cacao es variable, dependiendo básicamente de la variedad de cacao que se trate. Se presenta un análisis de la composición de los granos frescos:

#### COMPOSICION DE LOS GRANOS FRESCOS

(en tanto porciento de peso fresco)

Según F. Hardy

	COTILEDONES	TEGUMENTO
Agua	35	9.4
Celulosa	3.2	13.8
Almidón	4.5	46.0

	COTILEDONES	TEGUMENTO
Pentosana	4.9	-
Glucosa y Fructuosa	1.1	-
Manteca de Cacao	31.3	3.8
Teobromina	8.4	18.0
Proteínas	2.4	-
Cafeína	0.8	-
Polifenoles	5.2	0.8
Acidos	0.6	-
Sales Minerales	2.6	8.2

### 3. 2 ANALISIS QUIMICO Y EVALUACION DEL PESO DEL CACAO FERMENTADO

Para evaluar el contenido de los componentes principales en el cacao es reconocido internacionalmente el método usado en "Cocoa Bean Test 1961/62". Este análisis no es concerniente al aroma o valor nutritivo del cacao, solamente pretende dar información de las características más importantes para la elaboración de los productos de cacao (como son: peso por grano, cantidad de cascarilla, peso específico, índice de iodo, contenido de grasa). Otros valores tales como pH, pigmentos en el cacao, sustancia oxidable, dan información del grado de fermentación y están sujetos a las fluctuaciones de la fermentación más que de otro factor. Bajo este punto de vista se da el análisis químico y evaluación del peso de un cacao fermentado seco de Tabasco de mediana calidad.

## EVALUACION DEL PESO

	PROMEDIO	MAXIMO	MINIMO
Peso de 100 granos (g)	113.4	114.5	112.8
Cantidad de granos necesarios para pesar 100 g.	88	87	89
Peso específico	0.94		
Cascarilla y germen (%)	9.0		
Contenido de agua (%)	6.1		

## ANALISIS QUIMICO

	En Peso de Grano Seco sin Desgrasar	En Peso de Grano Seco y Desgrasado
Grasa (%)	53.2	
Indice de Iodo de la Grasa	35.1	
Nitrógeno Total (%)	2.48	5.30
Teobromina (%)	1.41	3.02
Cafeína (%)	0.42	0.896
"Proteína Cruda" (%)	12.0	25.6
Valor pH	6.5	
Acidos libres (miliequivalente/100 g.)	13.0	
Pigmentos de Cacao extinción/g.	0.473	
%de no fermentado	18.9	
Materia oxidable (ml. n/10 KMnO4/g.)	19.0	

## OBSERVACIONES CONCERNIENTES A LAS EVALUACIONES INDIVIDUALES

Peso de los granos y distribución del peso.-

El peso de los 100 gramos fue determinado con muestras de 4 x 100 gramos, y de estas el número de granos para 100 gramos fue calculado.

El peso específico (densidad absoluta) fue determinado por el incremento de volumen después de sumergir 100 granos dentro de una taza graduada que contenía aceite.

Cantidad de cascarilla y germen:

Se determinó en muestras de 3 x 50 granos.

Contenido de Agua y Análisis Químico.

Se llevó a cabo con muestras de almendras finamente divididas y homogeneizadas de 100 a 200 granos.

Contenido de grasas:

Determinado de acuerdo al método de Wijs usado éter de petróleo (140/160°F) para extraer la grasa.

El índice de iodo es el número de gramos de iodo absorbidos en condi ciones normalizadas por 100 gramos de grasa o ácido graso.

Este índice caracteriza la verdadera insaturación de un ácido graso solo si los dobles enlaces no están conjugados, pues la absorción - del halógeno no es cuantitativa en los ácidos de enlaces conjugados, salvo que esté favorecida por un catalizador. En el método de Wijs, el ácido graso absorbe el halógeno de una solución acética de mono- cloruro de iodo.

#### Teobromina y Cafeína:

La teobromina fue determinada de acuerdo al método de Holmes sobre las almendras de las cuales la grasa fue parcialmente eliminada (de acuer do a los experimentos preliminares, fue posible extraer la cafeína con cloroformo, usado el método de Englis y Miles, de la misma solución después de la separación de la teobromina precipitada, y lavando el - residuo). Se supone que además de la cafeína, pequeñas cantidades de otras purinas fueron también recobradas.

En la determinación de ambas se debe considerar un margen del 10% de error.

#### Nitrógeno Total y "Proteína Cruda"

El nitrógeno total fue determinado de acuerdo al método micro de

Kjeldahl-Pregl. De los valores obtenidos la "proteína cruda" se -  
calculó por deducción del nitrógeno de las purinas y multiplicado -  
por el factor 6.25 como un valor aproximado para la suma de proteínas  
y sus productos de hidrólisis (aminoácidos, peptidos) como son las -  
proteínas color "café tostado" (interacciones de polifenoles, etc.)  
De acuerdo a este análisis total del cacao otras sustancias con un  
contenido de nitrógeno no se presentaron en cantidades considerables.

#### Acidos libres y pH:

Los ácidos libres fueron extraídos de acuerdo al método dado por H.  
Fincke en su "Hadbuck der Kakaoerzeugnisse" (Manual de Productos de  
Cacao) y medido con el potenciómetro (titulación a pH 8.6); el pH de  
las almendras se determinó con el potenciómetro en 1:5 extracto -  
(relación de sustancia seca: agua).

#### Pigmentos de Cacao:

Se estimaron de acuerdo al método simplificado de Rohan-Neirinkx, que  
es sugerido por la Comisión de Expertos de la Oficina Internacional  
de Cacao y de Chocolate en 1960. Además se midió la extinción por  
gramo del peso original, la extinción se expresó en porcentaje de extin-  
ción/g. de cacao Ghana no fermentado, en el cual es la reducción de  
antocianinas, y que es característico en la fermentación, no ha ocurrido.

El contenido actual de los pigmentos estimados es debido a las -  
antocianinas.

#### Sustancias Oxidables:

Se determinaron volumétricamente también de acuerdo al método de la Comisión de Expertos. Se determinan las sustancias oxidables como una indicación del estado de fermentación, durante la cual especialmente en su última fase y el primer período de secado pueden considerarse como la fase de oxidación.

### 3.3 ANALISIS DEL SABOR A CHOCOLATE

Desde un punto de vista químico, varias son las teorías, y complejo el mecanismo, bastaría afirmar que a partir de polifenoles, contando con la presencia de aminoácido y proteínas complejas, por acción de las enzimas y con la modificación de grupos químicos, producto de fenómenos de la misma acción enzimática, se obtiene en el grano complejos químicos precursores del característico sabor de chocolate.

Con el advenimiento de la cromatografía de gases se han realizado análisis del aroma del chocolate, identificándose alrededor de 200 componentes.

Se han encontrado diversas clases de hidrocarburos incluyendo alifáticos, cíclicos, aromáticos, alcoholes, aldehídos, cetonas, ácidos, ésteres, furanos, piroles, pirazinas y compuestos sulfurados.

No todos son igualmente importantes para el aroma, sobre salen los aldehídos alifáticos, fenilacetaldehídos, 5-metil-2-fenil-2-hexanol, furfuraldehído, las pirazinas, piroles, ácido pirúvico, isopentil acetato y el disulfuro dimetil.

### 3.4 CAMBIOS QUIMICOS DURANTE LA FERMENTACION

#### 3.4.1 FERMENTACION EN LA PULPA

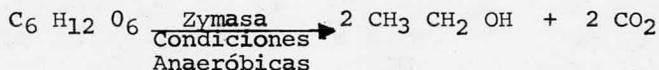
En la mazorca la pulpa es estéril, pero al extraerse los granos de la mazorca comienzan a ser infestados rápidamente por una serie de microorganismos. Las condiciones en la pulpa son propicias para el desarrollo de levaduras, - éstas proliferan velozmente, alcanzan su máximo, y declinan después de 24 horas. La primera reacción que se verifica es una fermentación alcohólica.

##### 3.4.1.1 FERMENTACIONES ALCOHOLICA Y LACTICA

Las condiciones de la pulpa que favorecen esta fermentación son, el pH bajo, debido a la presencia de ácido cítrico, el elevado contenido de azúcares y la insuficiencia del acceso de oxígeno a la pulpa formando un medio anaeróbico, favoreciendo la actividad de las levaduras, que llegan a comprender más del 90 por ciento del total de los microorganismos. Principalmente las levaduras pertenecen a las Saccharomyces Cerevisiae.

Durante las primeras 24 horas las levaduras actúan muy enérgicamente, verificándose una ligera elevación de la temperatura; la pulpa se descompone y el mucílago empieza a degradarse tomando una consistencia más fluida. La masa comienza a soltar un líquido muy delgado que viene a formar las exudaciones del cacao durante la fermentación.

La reacción química principal de este fenómeno es la transformación de la glucosa en alcohol etílico y bióxido de carbono, esta reacción se lleva al cabo con la ayuda de la enzima que contienen las levaduras conocida como Zymasa. El esquema de la reacción es el siguiente.



Esta reacción es exotérmica, lo que provoca el ligero aumento en la temperatura. El ambiente donde se encuentran los recipientes utilizados para esta fermentación no debe ser ventilado.

La desasimilación del ácido cítrico, existente en la pulpa, por las levaduras ocasiona una elevación del

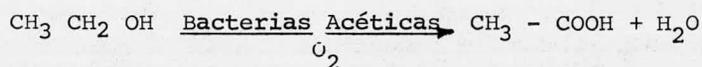
pH y, junto con el aumento de la temperatura resultante de la fermentación alcohólica, proporciona condiciones más apropiadas para las bacterias lácticas que son del género Beta bacterium. Al degradarse la pulpa y aunado al desmoronamiento de la célula de - está, permite una mejor ventilación de la masa.

En estas condiciones prosperan las bacterias acéticas, y las lácticas sólo compiten con aquellas - durante unas horas. Por lo cual parece poco probable que las bacterias lácticas sean de gran importancia en la fermentación.

#### 3.4.1.2 FERMENTACION ACETICA

El ascenso del pH, el aumento del etanol y la mejor aereación, facilitan la proliferación de las bacterias del ácido acético: acetomonas y aceto bacter, que convierten el etanol en ácido acético y agua. Las acetomonas son incapaces de oxidar el ácido acético a dióxido de carbono y agua, pero las acetobacter pueden realizar esta reacción, así que la cantidad de ácido acético presente en cualquier tiempo depende de la - velocidad de producción y destrucción.

En la reacción química de formación de ácido acético, participa el alcohol etílico obtenido en la primera fermentación:



Esta reacción también es exotérmica, lo que significa que la masa en proceso de fermentación aumenta la temperatura, en una mayor cantidad que en la fermentación anterior.

Las bacterias acéticas desdoblan los aminoácidos con formación de amoníaco y aminas, y dan a la testa un color pardo oscuro o negro característico y un olor desagradable.

Si no se aereara la masa se suscitarían dos fenómenos nocivos a la fermentación: un aumento excesivo de temperatura que destruiría las enzimas y bacterias que dirigen las reacciones fermentativas y además, como consecuencia, la intervención de una fermentación pútrida que provocaría la descomposición de los cotiledones del grano, originando malos olores y sabores en la masa del cacao.

Es necesario encontrar un equilibrio entre temperatura de la masa en fermentación, remoción de la misma para obtener una oxidación adecuada y el tiempo necesario para que esta reacción se realice adecuadamente hasta lograr el resultado deseado.

#### 3.4.2 FERMENTACION DEL GRANO

Como se vió, en la composición de los granos frescos, estos presentan un buen contenido de compuestos polifenólicos y similarmente a todos los tejidos vivos son una compleja organización de proteínas, grasas, carbohidratos y de otros compuestos.

En los cotiledones, dispersos en todas las partes del tejido cotiledonar, están almacenados los polifenoles, encontrado en estas células de almacenamiento, catequinas (31% del total de fenoles); leucocianidinas (26%), polimeroleucocianidina (39%), antocianinas y las purinas: Teobromina y cafeína.

En estas células de almacenamiento de polifenoles no hay enzimas, ellas se encuentran en el parénquima celular tales son: hidrolasas, galactosidasa, polifenol-oxidasa, proteinasas, y aquellas que hidrolizan los carbohidratos.

Las dos primeras son enzimas características para cacao. Galactosidasa hidroliza los pigmentos antocianidicos, su temperatura óptima es 44°C y pH óptimo 4.0 - 4.5.

Polifenol oxidasa, oxida los polifenoles principalmente la epicatequina en quinonas, su pH óptimo es 6.0 y su temperatura óptima es 31.5°C en las almendras sin fermentar y 34.5°C en las almendras fermentadas.

Los cambios asociados con la cura comienza con la muerte de las almendras alrededor del final del segundo día de fermentación.

Una temperatura de 43° C es requerida para matar el germen de los granos, el calor no es el único agente, ya que los granos en un fermentador mueren antes de que esta temperatura se alcance debido a la peneteación de etanol y ácido acético desde la pulpa.

Cuando el grano muere, el agua y las sustancias disueltas se difunden libremente dentro de la semilla. El contenido de polifenoles almacenados en las células se difunde fuera en los alrededores del parénquima celular.

Ciertas leucocianidinas curten las proteínas, volviéndolas

insolubles. Las antocianinas son hidrolizadas por la galactodidasa, el color de las almendras comienza a perderse.

La reacción de los taninos es importante para el sabor ya que las leucocianidinas son compuestos astringentes y reaccionan con la proteína reduciendo su astringencia a un nivel más paladeable.

Tres días después de muertos los granos la actividad enzimática está reducida a un nivel bajo, reduciéndose a un 1% de la actividad inicial.

Al disminuir la actividad enzimática se hidrolizan las proteínas y los polifenoles complejos a aminoácidos y azúcares simples.

En una fermentación normal las condiciones de las almendras en este tiempo están cerca del óptimo para la hidrólisis de las proteínas. El pH óptimo para la proteólisis es alrededor de 6.0 variando con la temperatura, siendo de poca actividad alrededor del pH 6.5.

La entrada de ácido acético al interior de la almendra - disminuye progresivamente cuando el pH es de 6.3 - 6.5 haciéndose más favorable a pH 5.0

La temperatura aumenta en la masa en fermentación siendo su óptimo de 46° C. Al quinto día de una fermentación normal la mayor parte de la proteína está hidrolizada, hay poco cambio en el contenido de aminácidos.

No están bien estudiadas las condiciones para la actividad de la glicósido-hidrolasa, pero se muestra que su nivel de azúcares reductores en la semilla aumenta progresivamente estando cerca de su máximo después de 5 días de fermentación.

Se supone, que las condiciones en la semilla en este tiempo está cercana a la óptima condición para la hidrólisis de los polisacáridos.

Las condiciones óptimas para la antocianinas son similares a los de las proteínas y la destrucción de los pigmentos - se puede seguir visualmente tomando como guía la destrucción de la proteína y de los polisacáridos.

El oxígeno normalmente no penetra a la semilla, sino después del cuarto día de una fermentación normal. Estas reacciones ocurren en la semilla en dos fases: hidrolítica anaeróbica y la de condensación de los polifenoles.

La temprana penetración de oxígeno dentro del cotiledón -

puede ocasionar una temprana inactividad de las enzimas y el fracaso de las reacciones características de la fase - anaeróbica hidrolítica.

La oxidación no sigue rápidamente en la semilla durante el proceso avanzado de la fermentación y no es apreciable hasta que el contenido de agua es reducido durante el secado a un 20%, el contenido de agua de este valor aumenta la oxidación hasta que la reacción se inhibe por llegar la humedad a un 8%. La oxidación es enzimática, el principal substrato es epicatequina pero las quinonas son epicatequinas oxidadas, otro polifenoles como las leucocianidinas también son oxidados.

La polimerización posterior reduce la amargura y la astringencia y esto es importante para el sabor. La reacción de las quinonas con aminoácidos pueden también afectar el sabor.

#### 3.4.3 CAMBIOS QUIMICOS DUEANTE EL SECADO.

Algunos de los cambios que ocurren durante la fermentación siguen sucediendo en la fase de desecación. Cuando los - granos se sacan prematuramente, de la masa fermentante, la destrucción de las antocianinas prosigue activamente. El

pardeamiento de los cotiledones se considera, sin embargo, el aspecto más importante del secado y generalmente se - asocia con la oxidación de los polifenoles por acción de la polifenol-oxidasa. Existe una relación entre el pardeamiento durante el secado. Sin embargo, no hay pruebas de que el sabor mejore al aumentar el pardeamiento.

## CAPITULO 4

### ALTERNATIVAS TECNICAS EN EL PROCESO DE BENEFICIO

#### 4.1 METODOS TRADICIONALES DE BENEFICIO

##### 4.1.1

Los métodos de fermentación empleados en los diferentes países, son principalmente cuatro:

##### a) Sistema de fermentación en Montones Sobre el Suelo

Este método es sin duda uno de los más antiguos y el más popular en las explotaciones pequeñas. No se requiere de ningún recipiente para contener los granos frescos. Estos se amontonan sobre una capa de hojas de plátano, las que pueden estar en contacto directo con el suelo o se pueden elevar ligeramente mediante una capa de estacas, y hacer perforaciones en las hojas para que puedan drenarse las exudaciones.

Cuando el montón es muy pequeño, no es necesario hacer remociones para uniformizar la masa fermentante, solamente se deben hacer para evitar el enmohecimiento de los granos de la superficie.

##### b) Fermentación en Cestas

Los granos frescos se depositan en unas cestas de mimbre y se cubre después con hojas de palmera. A veces también la

cesta se reviste en el fondo y por los lados con hojas de palmera, esta costumbre al parecer por los resultados es innecesaria. Las exudaciones escurren por los lados y el fondo de las cestas y se efectúa la remoción pasando los granos de un cesta a otra.

Es variable el tamaño de las cestas y varía según la región. Su capacidad oscila entre unos 9 y 136 kgs. de grano fresco. Este método es conveniente para cantidades pequeñas de cacao que se necesiten fermentar y no hay ninguna razón para que no resulte un buen cacao, si se trabaja con cuidado.

#### c) Fermentación en Bandejas

En este método se usan bandejas de madera de un espesor de 10 a 20 cms. Sobre estas mismas bandejas se fermenta y se seca el cacao. Es costumbre que los granos permanezcan extendidos durante el día y amontonados por la noche. En algunas regiones estas bandejas se apilan, de modo que queden unas encima de las otras y la pila formada de esta manera se pone sobre una bandeja vacía para que la ventilación sea mejor.

Solo la bandeja de encima se cubre con hojas de plátano y sacos.

#### d) Fermentación en Cajas

Estas cajas son construídas de madera no resinosa para que no contamine el grano con olores extraños. Se encuentran cajas de muy diversos tamaños, siendo uno de los factores limitantes la altura, ya que se recomienda que el espesor de la masa fermentante no pase de 0.9 m. Como la capacidad que se puede manejar en cada caja (una caja de 1 m<sup>3</sup> puede contener 900 kgs. de cacao fresco) es considerable, este método de fermentación se usa en fincas o plantaciones de gran extensión, donde se dispone de cantidades de cacao relativamente grandes, o se usa en centros de fermentación, donde varios productores llevan su cacao a beneficiar. Las cajas pueden disponerse juntas, una a continuación de otra, en el mismo nivel o en distintos planos horizontales en un sistema de cascada. En el fondo de las cajas deben existir orificios o ranuras para que las exudaciones puedan salir, para aumentar la ventilación y además la uniformidad de la fermentación en toda la masa es necesario hacer las remociones, que en el este caso se hacen pasando el cacao de una caja a otra por medio de traspaleos.

#### 4.1.2 LAVADO

En algunos lugares el cacao después de fermentado se acostumbra

lavar el grano para eliminar los restos de mucílago o también se pasa directamente al secado.

Este lavado se hace manualmente en piletas, en la orilla de los ríos ó con máquinas lavadoras centrífugas.

#### 4.1.3 SECADO

Son varios los métodos que se utilizan para secar el cacao fermentado. Estos métodos se pueden dividir de un modo general en dos:

##### a) Métodos de Secado Natural

En estos métodos el cacao húmedo se seca al sol, utilizando esta fuente calorífica natural.

Uno de los sistemas más primitivos es extender el grano - sobre barbacoas y bandejas construídas de fibra vegetales o de madera ligera, o simplemente sobre costales de yute, cuyo escaso peso permite transportarlos rápidamente bajo cubierto y ocupar poco espacio al ponerse unos sobre otros.

En algunos lugares se utilizan grandes terrazas de piso de cemento o ladrillo, donde se puede extender fácilmente el

grano hasta dejar un espesor delgado, para que sea más rápido el secado.

Para que estos métodos de secado natural resulten prácticos es necesario que el número de horas de insolación diaria sea grande y que no sean frecuentes las lluvias, ni los rocíos nocturnos o matinales. Estas condiciones solo se tienen en algunas regiones y no en todo el año prevalecen, por lo que existen algunas modificaciones para poder recoger rápidamente el grano o cubrirlo cuando el tiempo es desfavorable.

Para esto se usan los siguientes dispositivos:

- El secado se hace sobre una superficie fija y con un cobertizo móvil, que generalmente corre sobre rieles.
- El empleo de un cobertizo fijo y de tarimas de secado móviles que se puedan desplazar fácilmente debajo del cobertizo. Estas tarimas o bandejas se pueden insertar una sobre otra y en esta forma ocupa menos área techada.

El secado al sol requiere más tiempo que el secado artificial necesitándose más de 5 días para finalizar este proceso.

Cuando las condiciones climatológicas no son favorables para realizar el secado al sol es necesario contar con un sistema de secado artificial.

La diferencia entre estos métodos de secado radica en el tipo de sêcadora que se utiliza, que van desde lo más rústico (se cador Banda usado en Camerum), hasta secadoras rotatorias, que manejan capacidades considerables y utilizan un sistema bastante mecanizado.

El secado es por medio de la humidificación de aire, el cual primero se calienta y después se hace pasar a través de la - cama de cacao, humidificándose de esta forma el aire y lleván dose una parte de agua de acuerdo con las condiciones del - equilibrio. Esta corriente de aire se está pasando continua mente hasta que llega el grano a la humedad deseada. El ai re se calienta por convección natural o convección forzada - en las secadoras.

Las Secadoras no mecánicas generalmente están constituidas por un emparrillado en donde se tiende el grano y forman el área de secado y tienen por debajo un sistema de calentamiento que puede ser un tubo hogar o un hogar para leña, secado - directamente el grano con una mezcla de gases de combustión y aire, que tiene el inconveniente de contaminar el grano - cuando la combustión no es completa.

En los secadores mecánicos existen dos tipos importantes que puede ser el de bandejas movibles o fijas y el de cilindros rotatorios. Las secadoras rotatorias necesitan contar con un sistema de presecado, que es independiente su funcionamiento al de la secadora rotatoria. Estas secadoras están constituidas por un cilindro de metal que está girando y un sistema de tiro forzado de aire caliente.

En las secadoras de pileta tipo túnel emparrillado se tiene una pileta de secado en donde se forma un lecho del grano teniendo como base unas cribas a todo lo largo de la pileta, permitiendo el paso del aire a través del lecho. Además cuenta con un sistema para hacer pasar el aire caliente a través de la pileta que es un ventilador mecánico.

#### 4.1.4 LIMPIEZA

Limpiar el cacao significa obtener un producto libre de pachas, granos rotos o germinados, ramitas, pedazos de mazorca, etc. Eliminar granos rotos y germinados evita la posibilidad que los granos se infesten de mohos.

La limpieza en algunas parte se hace manualmente, lo que resulta obsoleto ya que existen pequeñas limpiadoras accionadas manualmente, que es un cilindro formado con rejas de madera y que

tienen un espacio entre ellas para dejar pasar las basuras y solo retener los granos completos, al estar dando vueltas el cilindro enrejado.

Esta misma limpiadora puede funcionar mecánicamente y con una capacidad mayor, también existen limpiadoras metálicas mas resistentes a las anteriores y las mas modernas funcionan con sistemas neumáticos para la limpieza y pueden operar continuamente.

#### 4.1.5 SELECCION

Seleccionar el grano es homogeneizar el producto final, separando por tamaños con el objeto de obtener una cotización mejor en los mercados. Esto se debe a que se logra una mejor homogeneidad en el torrefactado en lotes de cacao de tamaño similar, porque tiene un Cp semejante todos los granos y se puede alcanzar un mejor sabor y aroma en los productos de cacao.

Para hacer tal efecto se usan clasificadoras que son muy semejantes a las limpiadoras.

#### 4.1.6 ALMACENAMIENTO

En las regiones tropicales el cacao en grano, fermentado y seco, se pone en sacos de yute de trama abierta que se apilan en los almacenes donde permanecen períodos de hasta 9 y 12 meses.

Los locales en que se almacena tienen características muy variadas y la construcción es del tipo de la región, usando los - materiales disponibles a sus recursos.

#### 4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO ELEGIDO Y FUNCIONAMIENTO

##### 4.2.1 RECEPCIÓN

El cacao que abastecerá a la planta deberá tener de 12 a 15 horas de quebrado con el objeto de que la primera fase de la fermentación se realice satisfactoriamente.

El cacao se pesará y se revisará el aspecto exterior del grano - antes de ser puesto en la caja. Si se recibe algún lote bajo - circunstancias especiales y/o tiene más tiempo de quebrado, éste se separa con otros en lotes especiales.

La planta generalmente trabajaría 10 meses por año todos los días del mes con el fin de que las remociones sean continuas en la - fermentación y esta no se vea interrumpida.

##### 4.2.2 FERMENTACIÓN

En nuestro caso la fermentación de cacao efectuada en cajas es - la más adecuada, porque la capacidad es mayor y las temperaturas óptimas son alcanzadas en este sistema.

Entre el acomodo de las cajas en un nivel o en cascada resulta conveniente el arreglo en cascada porque disminuye la mano de obra para realizar la remoción.

Estas cajas se disponen en distintos planos horizontales y cada una de ellas tiene una trampilla de corredera para facilitar la operación. Aunque este sistema de cascada resulta conveniente solamente cuando el terreno se encuentra en desnivel, cuando no es así, el techo de la sala de fermentación debe estar muy alto para que se puedan colocar todas las cajas en diferentes niveles, provocando una disipación del calor en este espacio, factor desfavorable para una buena fermentación. Por lo tanto en un terreno nivelado es mas recomendable colocar las cajas de fermentación en fila en un sólo plano horizontal.

Las cajas estarán construídas preferentemente de cedro o alguna otra clase de madera que no sea resinosa. Las dimensiones interiores de cada caja serán de 1.50 x 1.00 x 0.75 m<sup>3</sup>, cada caja - debe tener varias ranuras en el piso con el fin de desechar las exudaciones de la fermentación.

El proceso en esta etapa se le da una duración promedio de 8 días, durante los cuales se mediría periódicamente la temperatura de la masa fermentante y evitar que una elevación mayor a 60° C pudiera inactivar el proceso.

La primera remoción del cacao, cambio de una caja a otra, se haría a las 24 horas y se efectuarían las remociones preferentemente en las mañanas y sin ningún motivo interrumpidas.

La disposición de las cajas ha sido hecha de tal forma que la primera caja se llenaría con cacao fresco y en la novena caja se sacaría rumbo a la secadora.

#### 4.2.3 SECADO

Definitivamente se necesitará secar el cacao sin importar las condiciones del clima que imperen en cualquier temporada el año y solamente un proceso de secado artificial puede funcionar de esta forma y con un menor tiempo de secado que el del secado natural. En esta operación se presenta dos alternativas técnicas que son las mas adecuadas por sus beneficios y difieren en el tipo de secadora que se utilizaría, que son las siguientes:

##### ALTERNATIVA 1

Secadoras tipo pileta con túnel emparrillado.

Mediante carritos transportadores de madera se lleva el cacao fermentado de las cajas a las secadoras.

El cacao fermentado se tira en la pileta de secado y se mantiene un espesor uniforme en la cama de aproximadamente 20 cms.

El secado se divide en dos fases, la primera de ellas, se realiza con aire calentado a 60° C y por espacio de 6 horas, la humedad del grano debe de disminuir de 60% a 40% (grano rodador) y se efectúan dos remociones durante esta etapa.

La segunda fase consiste en secar el grano con aire calentado a 70° C, las remociones se hacen cada 3 horas y 30 minutos de reposo. Esta etapa finaliza cuando el grano alcanza una humedad del orden del 7%.

Se realiza el secado con aire limpio que se ha calentado a través de un intercambiador de calor que resulta ideal, pues garantiza que el grano no se contaminará con malos olores agregados en el secado.

El túnel emparrillado estará en forma de plano inclinado, para así tratar de homogeneizar el secado en toda la cama del cacao. Este problema se presenta en la mayoría de las secadoras instaladas de este tipo, en las cuales existen zonas dentro del lecho del cacao, que no han secado debido a que el aire caliente no sale a través de esa parte del emparrillado por formarse zonas de vacío en el túnel por no darle la adecuada forma al flujo del aire al salir del ventilador. Con la inclinación se puede disminuir este problema.

## Secadoras Rotatorias

Para realizar el secado en este tipo de secadoras, es necesario hacer un presecado al grano, para evitar el aglomeramiento del cacao dentro de la secadora. A continuación se describe brevemente el proceso completo de secado.

Cuando finaliza la fermentación, de las cajas se pasa el grano a una canales en el piso que llevan agua para que el grano pueda fluir. Por medio de una bomba centrífuga se realiza el transporte hacia la sección de lavado donde se lleva a cabo esta operación con una lavadora centrífuga, existe una derivación en la línea para ahorrarse este paso.

Se recoge el cacao en una pileta y se pasa a otro canal en donde es conducido a una segunda bomba, en donde se envía el cacao en medio acuoso (por tubería) hacia la parte superior de un transportador, el cual cuenta con un filtro donde se separa el cacao y se le lleva en 2 pasos a la parte inferior por medio de vibradores (zarandas), dichos transportadores está cubiertos por capuchones a través de los cuales sale el aire calentado previamente en un intercambiador de calor, de esta forma poniendose en contacto el aire y el cacao, el aire se humidifica. Al salir el grano de este presecado debe llevar una humedad aproximada de 40% (grano rodador). Por medio de un transportador de banda se conduce al cacao hacia unas tolvas, las cuales alimentarán a

las secadoras rotatorias. El cacao se mantiene en las secadoras hasta que llegue a una humedad aproximada del 7%, se vacían las secadoras en otras tolvas en donde se recoge dicho cacao seco.

#### 4.2.4 SELECCION

Este paso se excluye para la alternativa 1. En la otra alternativa se dirige el cacao seco hacia un transportador de cangilones en donde se lleva a unos silos de clasificación, los cuales según el tamaño del grano la clasificadora los manda a un silo específico.

#### 4.2.5 LIMPIEZA

Para la alternativa 1:

El grano se retira de la pileta de secado y se lleva a la limpiadora. Esta limpiadora es de tipo mecánico de cilindro enrejado de operación intermitente. En esta etapa se eliminan granos rotos, germinados, pachas, basuras, etc.

EN LA ALTERNATIVA 2:

Una vez clasificado el grano, se lleva hacia una limpiadora (catadora neumática) que consta de dos secciones, la primera

separa las basuras y pachas de un peso relativamente pequeño, la segunda separa las basuras y pachas de un peso mayor al primero y menor al peso del grano.

#### 4.2.6 ENVASADO

El grano limpio se encasa en sacos nuevos y limpios con un peso neto de 65 kgs.

#### 4.2.7 ALMACENAMIENTO

El cacao limpio y/o seleccionado requiere de un local que esté ventilado, con tarimas que separen los sacos del piso con el fin de aislarlo evitando una posible humidificación, ya que es higroscópico el grano y puede aumentar su humedad por encima del 8% . Una humedad por encima del 8% en los granos almacenados - forma un ambiente propicio para el desarrollo de mohos, dañando estos irreversiblemente la calidad de la manteca contenida en los granos.

Una bodega adecuada para almacenar cacao es la que debe reunir los siguientes requisitos como mínimo.

- a) El local debe ser exclusivamente un almacén para cacao.
- b) Los sacos se apilan en estibas
- c) Exista un espacio libre de 10 - 15 cm. entre el piso y los sacos mediante una tarima de madera.

- d) Exista una separación entre las estibas de diferentes clases de grano.
- e) Exista un espacio mínimo de 50 cm. entre las paredes del almacén y las estibas.
- f) Las estibas que sean de 10 niveles o camas.
- g) Una ventilación adecuada.

#### 4.3 BALANCE DE MATERIA

Se considera que el cacao fresco al fermentarse y secarse no pierde sólidos y solamente perderá agua. Esto es, con el fin de facilitar los balances, ya que de otra manera, se tendría que seguir el cambio de las sustancias a través de reacciones de tipo bioquímico y resulta casi imposible poder seguir todos los productos y subproductos de la fermentación.

Base de cálculo = 100 kgs. cacao fresco

Fermentación

$$H_o = 61.4\%$$

Humedad inicial de los granos

$$H_f = 55.17\%$$

Humedad final después de esta

$$M_{T_1} = M_{\text{sólidos}} + M_{H_2O} = 100 \text{ kg.}$$

$M_{\text{sólidos}}$  = cte. durante todo el proceso

$$= (1-0.6145) \quad 100 \text{ kg.}$$

$$= 38.55 \text{ kg.}$$

Masa de cacao después de la fermentación

$$M_{T_2} = \frac{38.55 \text{ kg. sol}}{(1-.5517) \frac{\text{kg. sol}}{\text{kg. tol}}} = 85.9915 = 86 \text{ kg.}$$

Agua eliminada

$$\begin{aligned} \Delta M_{H_2O} &= M_{T_1} - M_{T_2} = 100 - 86 \\ &= 14 \text{ kg.} \end{aligned}$$

## SECADO

1a. Fase

$$H_o = 55.17\%$$

$$H_f = 40.0\%$$

Masa de cacao después de esta fase

$$M_{T_3} = \frac{38.55 \text{ kg. sol}}{(1-0.40) \frac{\text{kg. sol}}{\text{kg. tot}}} = 64.25 \text{ kg.}$$

Agua eliminada

$$\begin{aligned} \Delta M_{H_2O} &= M_{T_2} - M_{T_3} = 86 - 64.25 \\ &= 21.75 \text{ kg.} \end{aligned}$$

2a. Fase

$$H_o = 40\%$$

$$H_f = 7\%$$

Masa de cacao después del secado

$$M_{T_4} = \frac{38.55 \text{ kg. sol}}{(1-0.07) \text{ kg. sol}} = 41.45 \text{ kg.}$$

kg.tot

Agua eliminada

$$\Delta M_{H_2 O} = M_{T_4} - M_{T_3} = 64.25 - 41.45$$
$$= 23 \text{ kg.}$$

## LIMPIEZA

En la limpieza se considera un rendimiento del 96.5% eliminando los granos rotos, germinados, pachas, basuras, etc.

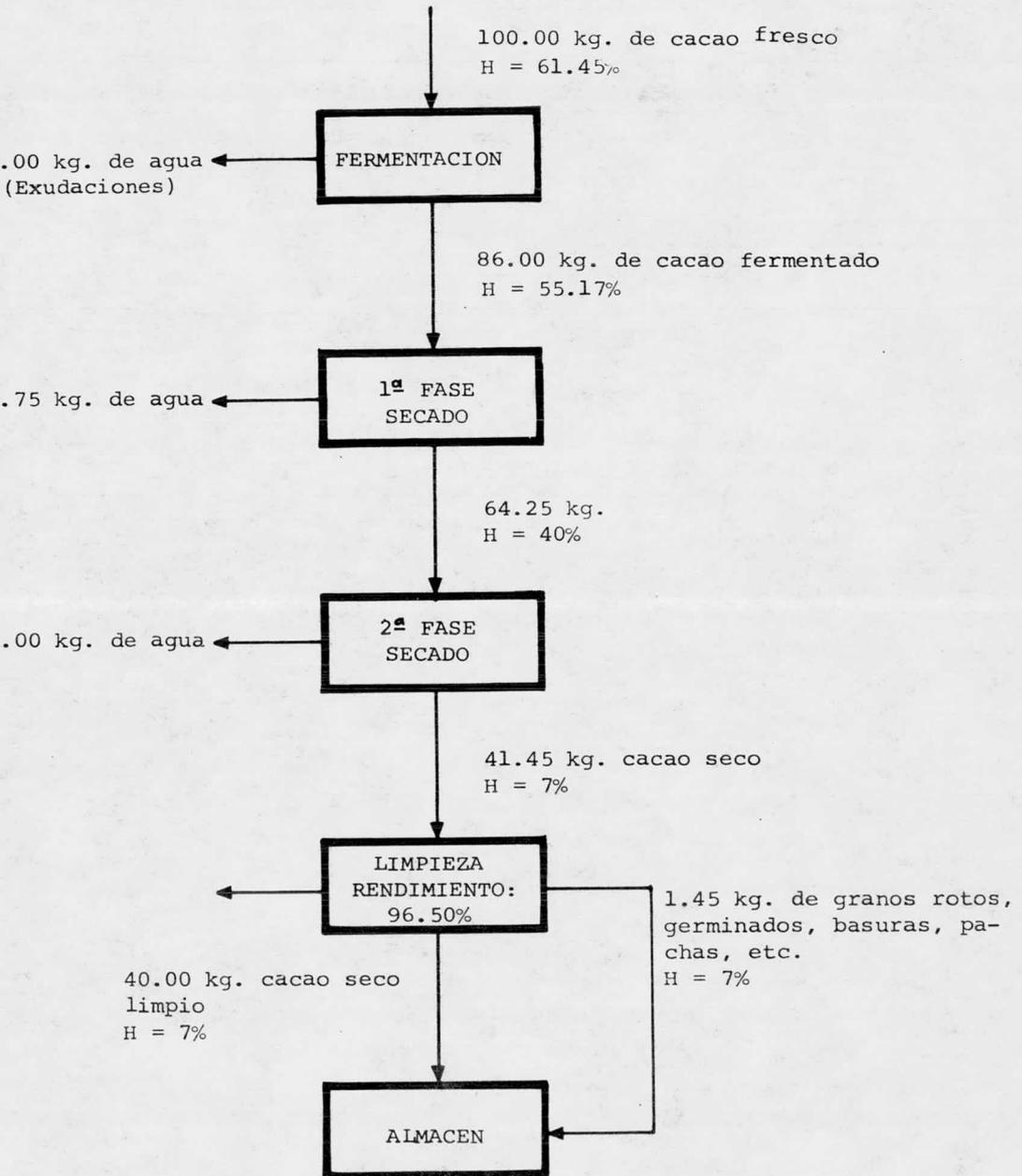
Masa de cacao después de todo el proceso

$$M_T = 41.45 \text{ kg.} \times 0.965$$

$$M_T = 40.00 \text{ kg. de cacao fermentado seco y limpio}$$

BALANCE DE MATERIA DEL PROCESO  
 DIAGRAMA DE BLOQUES

Base: 100 kg. de cacao fresco



#### 4.4 SELECCION Y DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPO

Para la alternativa 1 del proceso elegido, se usan secadoras tipo pileta con túnel emparrillado. Este equipo generalmente se construye muy empíricamente, por lo cual adolece de eficiencia en la operación y existen fallas técnicas en el funcionamiento. Por estos motivos se pretende hacer el diseño de una secadora estandar que servirá como base para la capacidad de todos los demás equipos para el beneficio.

##### 4.4.1 DISEÑO DE UNA SECADORA TIPO PILETA CON TUNEL EMPARRILLADO

En esta secadora se presentan tres fenómenos físicos:

Transferencias de momentum, calor y masa.

Primeramente se presenta el manejo de aire a través de un tiro forzado para hacerlo pasar por un intercambiador de calor y - después de calentarse este aire indirectamente a una humedad absoluta constante, se pone en contacto con el cacao humedo.

Llevándose el aire una parte de agua de acuerdo a las condiciones del equilibrio por medio de una humidificación adiabática.

CONDICIONES PARA EL SECADO:

La humedad superficial del grano es fácilmente reducida, de -- acuerdo alas condiciones del aire secante, y la humedad interior

del grano se reduce de acuerdo a la velocidad de difusión del agua a través de los cotiledones, por lo cual si se usa una - velocidad de secado muy rápida, usando un aire muy caliente - (arriba de 70 °C) se corre el peligro de que el grano se seque sólo superficialmente y la parte externa del grano ya seca - obstruya el paso de la humedad interior al cerrarse los poros de los cotiledones presentado problemas de enmohecimiento en el - almacenamiento, ya que aparentemente el grano estaría seco. Por lo tanto, en la primera fase del secado la velocidad que controla, sería la velocidad de difusión del agua a través del grano. Es conveniente que la temperatura del grano no exceda de los 60 °C, para que no se interrumpan algunas reacciones enzimáticas que continúan en etapa y no se tueste el grano, porque se desprende muy fácilmente la cascarilla haciendo propicio a las almendras a un ataque de mohos. Se estimó una duración de 6 horas para la primera fase en que se llevará el grano hasta una humedad del 40% (grano rodador), con un aire secante a una temperatura aproximada de 60 °C. En la segunda fase del secado, de acuerdo a las curvas de secado para cacao se aumenta la temperatura del aire a 70 °C, la duración de esta etapa es aproximadamente 16 horas, dando así un tiempo de secado por carga de 22 horas.

#### D A T O S

Capacidad de operación de la secadora = 1,200 kg. cacao/carga

Condiciones del aire para la humidificación:

tai = 20°C = 68°F	70% H.R.	Y' = 0.0105	lb H <sub>2</sub> O
			lb aire seco
tao = 60°C = 140°F	90% H.R.	Y' = 0.0230	lb H <sub>2</sub> O
			lb aire seco

Del balance de materia tenemos:

86 kg, de cacao fermentado		41.45 kg. de cacao seco
X		1,200 kg. de cacao seco

Cantidad de cacao fermentado que recibe la secadora:

$$X = 2489.746 \text{ kg. de cacao fermentado.}$$

Cantidad de agua que se necesita eliminar en la primera fase:

86 kg. de cacao fermentado		21.75 kg. de H <sub>2</sub> O
2489.746 kg. " "	X	

$$X = 629.67 \text{ kg. de H}_2\text{O}$$

Cálculo del volumen de aire necesario para la primera fase:

Duración : 6 horas

$$X = 629.67 \text{ kg. de H}_2\text{O}$$

$$X' = \frac{629.67 \text{ kg. de H}_2\text{O}}{6 \text{ hr}} = 104.9 \frac{\text{kg. de H}_2\text{O}}{\text{hr}}$$

Volumen húmedo de la mezcla de aire

$$V_H = 15.375 \frac{\text{ft}^3 \text{ mezcla}}{\text{lb aire seco}}$$

lb H<sub>2</sub>O

$$\Delta Y' = (0.023 - 0.0105) = 0.0125 \frac{\text{lb a.s.}}{\text{lb a.s.}}$$

$$X'a = \frac{X'}{\Delta Y'} = 104.9 \frac{\text{kg. H}_2\text{O}}{\text{lb a.s.}} \times 2.2 \frac{\text{lb}}{\text{kg}} = 18\,462.4 \frac{\text{lb a.s.}}{\text{hr}}$$

$$Q = X'a V_H = 18\,462.4 \frac{\text{lb a.s.}}{\text{hr}} \times 15.375 \frac{\text{ft}^3 \text{ mezcla}}{\text{lb a.s.}}$$

$$Q = 283\,859.4 \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}} = 8\,038 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

Como este equipo tendría una operación muy flexible, se le dió un 25% como sobrecapacidad para que en un momento dado maneje hasta un 25% más de la capacidad de operación.

Volumen máximo de aire que manejará el ventilador:

$$Q = 10\,047.5 \text{ m}^3/\text{hr} \approx 10,000 \text{ m}^3/\text{hr}$$

CALCULO DE LA CANTIDAD DE COMBUSTIBLE

Calor específico del aire a presión constante:

$$C_p = 0.24639 \frac{\text{BTU}}{\text{lb a.s.}^\circ\text{F}}$$

Primera fase

Segunda fase

$$t_{ai} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$t_{ai} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$t_{ao} = 60^{\circ}\text{C}$$

$$T_{ao} = 70^{\circ}\text{C}$$

$$\theta = 6 \text{ hr}$$

$$\theta = 16 \text{ hr}$$

Carga térmica:

$$Q = m C_p T = 22\,923.57 \frac{\text{lb a.s.}}{\text{hr}} \times 0.24693 \frac{\text{BTU}}{\text{lb a.s. } ^{\circ}\text{F}} \times 40 \times 1.8^{\circ}\text{F}$$

$$Q = 406,666 \text{ BTU/hr}$$

$$Q = 634\,325 \text{ BTU/hr } (\eta = 64.11\%)$$

Poder calorífico del petróleo diáfano

$$138\,137 \frac{\text{BTU}}{\text{Gal}}$$

$$W_c = 4.592 \text{ Galones por hora}$$

para la segunda fase

$$W_{c_2} = 5.74 \text{ GPH}$$

Total de combustible consumido a máxima capacidad de la secadora

$$119.4 \text{ Galones} = 451.8 \text{ litros}$$

a la capacidad de operación

95.52 Galones = 361.5 litros

DISEÑO DEL CAMBIADOR DE CALOR

Cálculo del area de transferencia:

$$Q = UA \text{ LMTD}$$

$$Q = \text{Carga térmica}$$

A = Area de Transferencia de calor

LMTD = Diferencia media logarítmica de temperatura.

U = Coeficiente total de transferencia de calor

	Aire	Gases de Combustión
Temperatura de entrada ( °F )	68 ( $t_1$ )	250 ( $T_1$ )
Temperatura de salida ( °F )	140 ( $t_2$ )	400 ( $T_2$ )

Patrón de flujo:

Tubos - Aire

Coraza - Gases de combustión

El gasto mayor irá por los tubos y será un flujo a contracorriente.

El coeficiente total de transferencia de calor ( $U_D$ ) para el sistema de gases de combustión - aire que se denomina tubos de humo - según experiencia de los fabricantes de equipo de transferencia de calor

y datos tomados de la literatura se estimó:

$$U = 2.5 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$\text{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} = \frac{(2050 - 140) - (400 - 68)}{\ln \frac{2050 - 140}{400 - 68}}$$

$$\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1} \quad \ln \frac{2050 - 140}{400 - 68}$$

$$\text{LMTD} = 901.85 \text{ } ^\circ\text{F}$$

De lo calculado anteriormente:

$$Q = 406 \ 666 \ \text{BTU/hr}$$

$$A = \frac{Q}{U \text{ LMTD}} = \frac{406 \ 666 \ \text{BTU/hr}}{2.5 \frac{\text{BTU}}{\text{hr ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}} \times 901.85 \text{ } ^\circ\text{F}}$$

$$A = 180.37 \text{ ft}^2$$

Número de tubos.-

Los tubos serán tipo flux, rolados sobre los espejos con un diámetro nominal de 2 pulgadas y cédula 10 Bwg, el largo de los tubos es de 125 cm.

$$d_o = 2" \quad 10 \text{ Bwg}$$

$$L = 125 \text{ cm} = 49.21"$$

$$a_t = 2.147 \text{ ft}^2 / \text{tubo}$$

$$N_t = \frac{A_T}{a_t} = \frac{180.37 \text{ ft}^2}{2.147 \text{ ft}^2 / \text{tubo}} =$$

$N_t = 84$  tubos

Arreglos del cambiador

El arreglo será triangular con un pitch de 2.6875 in.

$d_o = 2''$

$P_t = 2.6875''$

$C = 0.6975''$

El cambiador contará con 2 deflectores.

$B = 16.4''$

Por el arreglo del cambiador el número de tubos será de 85.

Los deflectores no deben estar fijos para que se puedan ajustar las áreas de flujo y producir un buen tiro natural. Hasta un - 33% de diferencia entre las áreas de flujo se puede dar.

Diámetro de la chimenea.

Para nuestras condiciones, lo más recomendable será una chimenea con diámetro de 8 in. que está dentro del rango de 4.5-7 gal/hr quemados de combustible, que en la práctica se usa este diámetro.

#### CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION

a) En la coraza.

Según método Kern, Donald Q. Procesos de transferencia de calor. La ecuación isotérmica para la caída de presión para fluidos - que se calientan o enfrían, considerando las pérdidas de entrada y salida es:

$$P_S = f \frac{G_S^2 D_S (N+1)}{5.22 \times 10^{10} D_e S} \quad \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

donde:

F = Factor de Darcy

$G_S$  = Gasto masa-velocidad del gas. lb/hr ft<sup>2</sup>

$D_S$  = Diámetro interno de la coraza, ft

N+1 = Número de cruces, número de veces que el fluido cruza el haz de tubos.

$D_e$  = Diámetro equivalente ft

S = Gravedad específica del fluido.

Gasto másico del fluido.

$$W = 4.6 \frac{\text{Gal}}{\text{hr}} \times 7.2 \frac{\text{lb}}{\text{Gal}} \times \frac{1,872.714 \text{ lb gases de combustión}}{100 \text{ lb de comb.}}$$

$$W = 620.24 \frac{\text{lb}}{\text{Hr}} \text{ gases de combustión}$$

El área de flujo en la coraza es:

$$A_S = \frac{ID C' B}{144 P_T}$$

Con los datos anteriores:

$$A_S = \frac{24.875' \times 0.6875'' \times 16.4''}{144 \times 2.6875''} = 0.7247 \text{ ft}^2$$

Gasto masa - velocidad:

$$G_S = \frac{W}{A_S} = \frac{620.24 \frac{\text{lb}}{\text{hr}}}{0.7247 \text{ ft}^2}$$

$$G_S = 855.85 \frac{\text{lb}}{\text{hr ft}^2}$$

Diámetro equivalente:

$$d_e = \frac{4 \times (0.43 P_T^2 - \frac{1}{2} \pi d_o^2 / 4)}{\frac{1}{2} \pi d_o}$$

$$d_e = 1.9543''$$

$$D_e = 0.1628 \text{ ft}$$

Número de Reynolds:

$$N_{Re} = \frac{G_S D_e}{\mu}$$

$\mu$  = viscosidad del fluido a su temperatura c lórica.

$$= 0.036 \text{ cp} \times 2.42 = 0.08712 \text{ lb/ft hr}$$

$$N_{Re} = \frac{0.1628 \text{ ft} \times 855.85 \text{ lb/hr ft}^2}{0.08712 \text{ lb/ft hr}} = 1599.3$$

Con este valor se obtien el factor de fricción:

$$f = 0.003$$

$$d_s = \sqrt{\frac{A_S}{\pi/4}} = \sqrt{\frac{24.875'' \times 24.322''}{0.785}}$$

$$d_s = 27.76''$$

$$D_s = 2.313 \text{ ft}$$

$$N+1 = \frac{L}{B} = \frac{49.21''}{\frac{49.21''}{3}} = 3$$

$$S = 0.00043$$

$$\Delta P_S = \frac{(0.003) (855.85)^2 (2.313) (3)}{5.22 \times 10^{10} \times 0.1628 \times 0.00043}$$

$$\Delta P_S = 0.004172 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times \frac{704.3928 \text{ mm. w.c.}}{\text{lb/in}^2}$$

$$\Delta P_S = 2.938 \text{ mm.w. c.}$$

Caída de presión en la coraza debido a la salida de la chimenea.  
 Según el Industrial Ventilatrón, A Manual of Recommended Practice,  
 13 th edition, American Conference of Governmental Industrial  
 Hygienists:

$$\Delta P = 1.78 P_{V_E} + 0.49 P_{V_C}$$

$P_V$  = presión dinámica. in w.c.

E = Expansión

C = Contracción

Donde  $P_V = \rho \left( \frac{U}{1096.2} \right)^2$  ( del "Pocket Engineering Guide" )

$u$  = velocidad del fluido, ft/min.

a  $t = 400$  °F

$$\rho = 0.046 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

1)  $W = 620.24$  lb/hr

$$G_S = \rho u = 855.85 \text{ lb/hr ft}^2$$

$$u = \frac{G_S}{\rho} = \frac{855.85}{0.046} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 309.485 \text{ ft/min}$$

$$P_{V_E} = 0.046 \left( \frac{309.485}{1096.2} \right)^2 = 0.00366" \text{ w.c.}$$

2)  $D_{Ch} = 8$  in

$$A_{Ch} = 50.24 \text{ in}^2 = 0.348 \text{ ft}^2$$

$$u = \frac{W}{\rho A} = \frac{620.24}{0.046 \times 0.348} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 645.76 \text{ ft/min}$$

$$P_{V_C} = 0.046 \left( \frac{645.76}{1096.2} \right)^2 = 0.016" \text{ w.c.}$$

$$\Delta P = 1.78 (0.00366" \text{ w.c.}) + 0.49 (0.016" \text{ w.c.})$$

$$\Delta P = 0.0143" \text{ w.c.} = 0.36 \text{ mm. w.c.}$$

Caída de presión total en la coraza del intercambiador

$$\Delta P_T = \Delta P_S + \Delta P = 2.938 + 0.36$$

$$\Delta P_T = 3.298 \text{ mm w.c.}$$

b) En los tubos

La caída de presión total por los tubos esta formada por 3 caídas de presión parciales.

$$\Delta P_t = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3$$

$\Delta P_1$  = Caída de presión por contracción al pasar el aire del ventilador a los tubos.

$\Delta P_2$  = Caída de presión del aire por dentro de los tubos.

$\Delta P_3$  = Caída de presión al pasar el aire por la cámara de cacao.

$$\Delta P_1 = 1.78 P_{VE} + 0.49 P_{VC}$$

1)  $Q_v = u A$

$$u = \frac{Q_v}{A} = \frac{353 \text{ 147.2 ft}^3/\text{hr}}{60 \times 45 \text{ cm}^2} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{(30.48 \text{ cm})^2}{1 \text{ ft}^2} = 2025.2 \text{ ft/min}$$

a 20 °C y 1 atm

$$\rho_{\text{aire}} = 0.075 \text{ lb/ft}^3$$

$$P_{V_E} = \rho \left( \frac{u}{1096.2} \right)^2 = 0.075 \quad \left( \frac{2025.2}{1096.2} \right)^2 = 0.025" \text{ w.c.}$$

$$2) u = \frac{Q_v}{A} = \frac{352 \cdot 147.2 \text{ ft}^3/\text{hr}}{85 \times 0.01635 \text{ ft}^2} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 4235.14 \text{ ft/min}$$

$$P_{V_C} = 0.075 \left( \frac{4235.14}{1096.2} \right)^2 = 1.12" \text{ w.c.}$$

$$\Delta P_1 = 1.78 (0.256" \text{ w.c.}) + 0.49 (1.12" \text{ w.c.})$$

$$\Delta P_1 = 1.004" \text{ w.c.} = 25.5016 \text{ mm. w.c.}$$

$$\Delta P_2 = f \frac{G_t^2 L_n}{5.22 \times 10^{10} \text{ DS}}$$

$$W_t = 22 \ 960.96 \frac{\text{lb a.s.}}{\text{hr}}$$

$$a_t = \frac{\pi}{4} d_i^2 = \frac{\pi}{4} (2 - 2(0.134))^2 = 2.3548 \text{ in}^2$$

$$a_t = 0.01635 \text{ ft}^2$$

$$G_t = \frac{W_t}{n a_t} = \frac{22,960.96 \frac{\text{lb a. s.}}{\text{hr}}}{85 \times 0.01635 \text{ ft}^2}$$

$$G_t = 16,518.4 \text{ lb/hr ft}^2$$

$$N_{Re} = \frac{G_t ID}{\mu} = \frac{16,518.4 \times (2 - 2(0.134)) / 12}{0.019 \times 2.42} = 51 \ 852$$

$$f = 0.00018$$

$$L = 4.1 \text{ ft}$$

$$D = 0.1443 \text{ ft}$$

$$n = 1$$

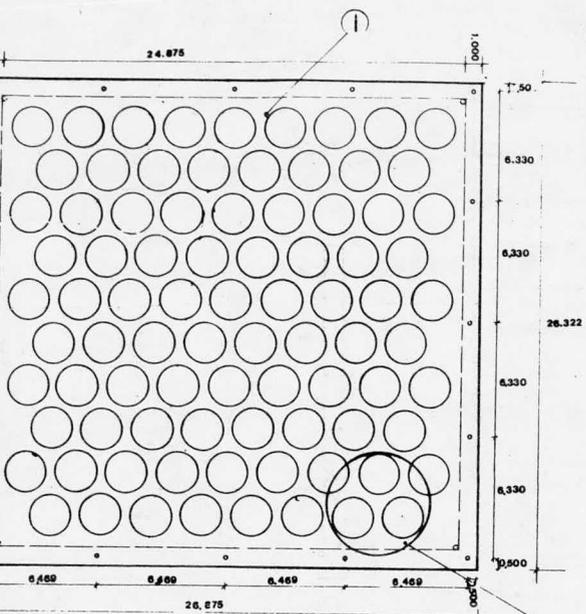
$$S = 0.000987$$

$$\Delta P_2 = \frac{0.00018 \times (16518.4)^2 \times 4.1}{5.22 \times 10^{10} \times 0.1443 \times 0.000987}$$

$$\Delta P_2 = 0.027 \text{ lb/in}^2 = 19.07 \text{ mm. w.c.}$$

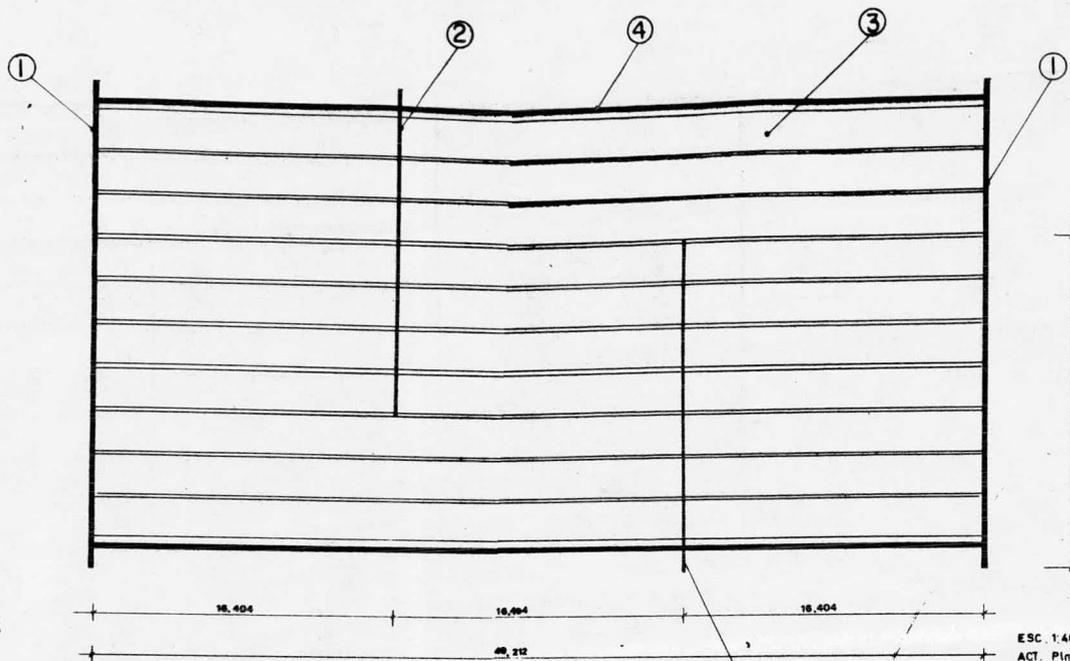
$$\Delta P_3 = \text{esta caída de presión se ha estimado como } 20 \text{ mm.w.c.}$$

$$\Delta P_t = 25.5 + 19.07 + 20 = 64.57 \text{ mm. w.c.}$$

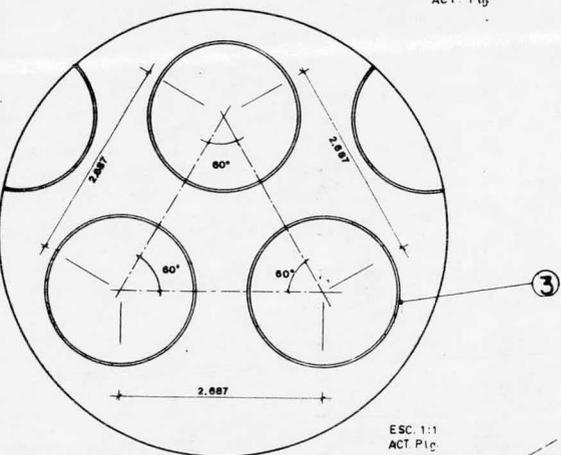
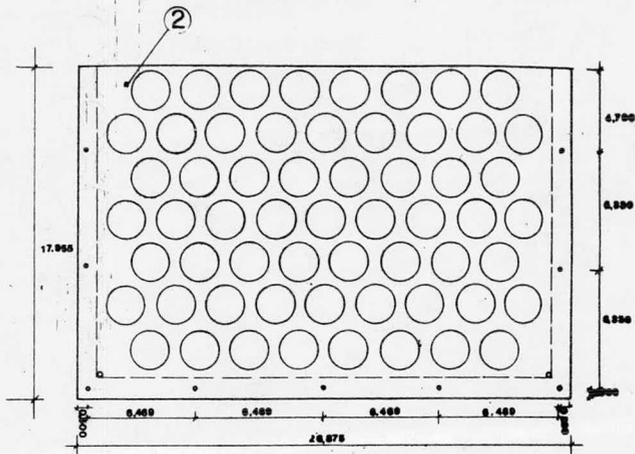


ESC. 1:40  
ACT. Plg

DET. A

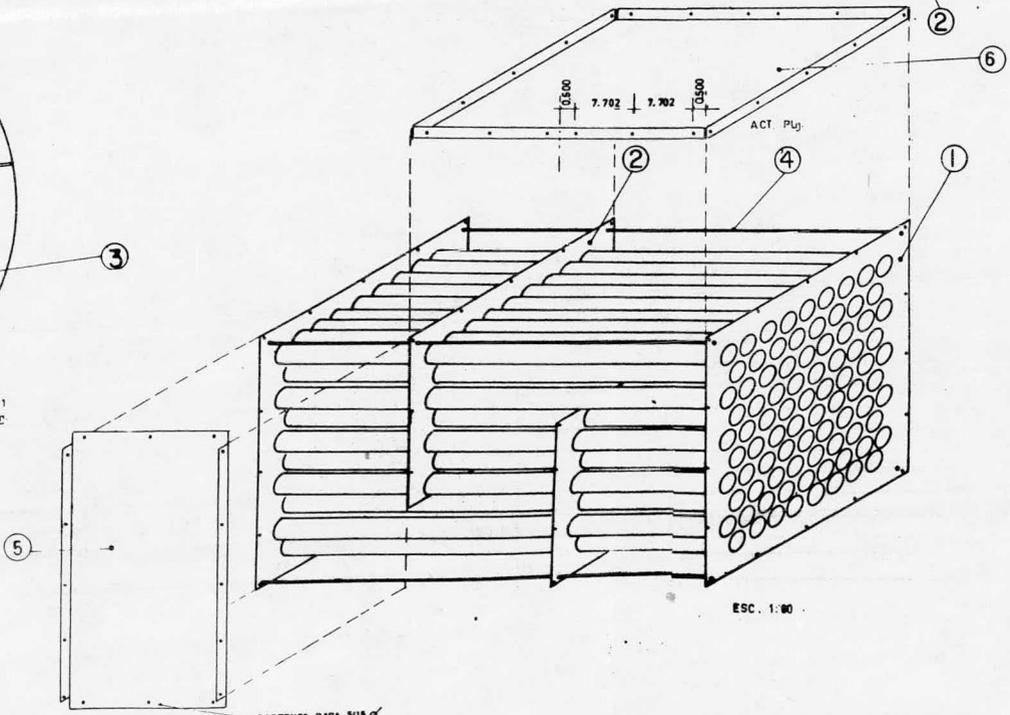


ESC. 1:40  
ACT. Plg



ESC. 1:1  
ACT. Plg

DETALLE A



ESC. 1:80

ESPECIFICACIONES			
No.	Cantidad	Unidad	Descripcion
1	2	Pzas	Espejo placa de acero 1/4"
2	2	Pzas	Deflectores en placa de acero U/8"
3	85	Pzas	Tubos flux de 2" Ø 12 BWG
4	4	Pzas	Tirante de acero redondo de 1/2" Ø
5	6	Pzas	Lámina galvanizada calibre 14
6	1	Pzas	Lámina galvanizada calibre 14
7	76	Pzas	Tornillos 5/16"x1" rosca std. cabeza hexagonal con tuerca y 2 rondanas

- Recocido y Pulido de 170 bocas de tubo flux  
 - Rolaje de 170 bocas de tubo flux a sapepe

**INTERCAMBIADOR DE CALOR I-1**  
**PLANTA BENEFICADORA PARA CACAO**

Proyecto: Juan Manuel Muñoz Aguilera    Dibujo: Juan Manuel Muñoz Aguilera

Plano No. | Escala | Acotado | Fecha Enero 1978

FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

## SELECCION DE LOS VENTILADORES

Para cada secadora se necesitan 2 ventiladores, un ventilador maneja el aire que va a pasar por el intercambiador de calor, para después secar el cacao y el otro ventilador suministra el aire para la combustión al quemador. Estos ventiladores deben tener la suficiente presión de descarga para vencer la caída de presión y que circule la cantidad necesaria de aire.

### Ventilador grande:

10,000 m<sup>3</sup>/hr a 20°C y 70% H.R.

$$P_s = 110 \text{ mm. w.c.}$$

### Ventilador pequeño:

$$4.6 \frac{\text{Gal}}{\text{hr}} \times \frac{50^\circ}{40^\circ} \times 7.2 \frac{\text{lb}}{\text{Gal}} = 41.4 \frac{\text{lb combustible}}{\text{hr}}$$

$$41.4 \frac{\text{lb comb.}}{\text{hr}} \times \frac{1718.04 \text{ lb aire}}{100 \text{ lb comb.}} = 711.27 \frac{\text{lb aire}}{\text{hr}}$$

$$711.27 \frac{\text{lb aire}}{\text{hr}} \times \frac{1 \text{ ft}^3}{0.075 \text{ lb aire}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{35.31972 \text{ ft}^3} = 268.4 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

270  $\frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$  a 20°C y 70% H.R.

$$P_s = 40 \text{ m.m. w. c.}$$

## DIMENSIONES DE LA PILETA DE SECADO

La pileta de secado será del tipo tradicional con algunas modificaciones, como lo muestra la figura. 2 La pileta se construye de ladrillo rojo rebocado con cemento gris, el túnel emparrillado estará inclinado y en la parte final de la pileta en el piso, - tendrá una rampa para uniformizar el flujo de aire. La pileta - tendrá 8.0 m. de largo interno, 2.0 m. de ancho interno y 0.90 m. de altura y a 50 cm. se encuentra el túnel emparrillado, que - está formado por 8 cribas de 1m.x2m. que serían láminas perforadas de fierro negro calibre 14 con barrenos de 1/4". y bastidores de ángulo de fierro. A la descarga del ventilador se encuentra un túnel de expansión, en el cual las paredes laterales se van - separando entre sí con un ángulo de 60° para que el flujo del - aire no sufra una expansión drástica y pueda salir uniforme, después existe localizado un túnel de extensión que va a terminar a la pileta de secado.

La capacidad de operación de la secadora se logra con una capacidad aproximada de 20 cm. de cacao fresco.

Ya con lo anterior se cuenta con los elementos principales que constituyen la secadora y se puede proceder al diseño del equipo que resta, que es básicamente el equipo de fermentación.

# SECADORA PARA CACAO

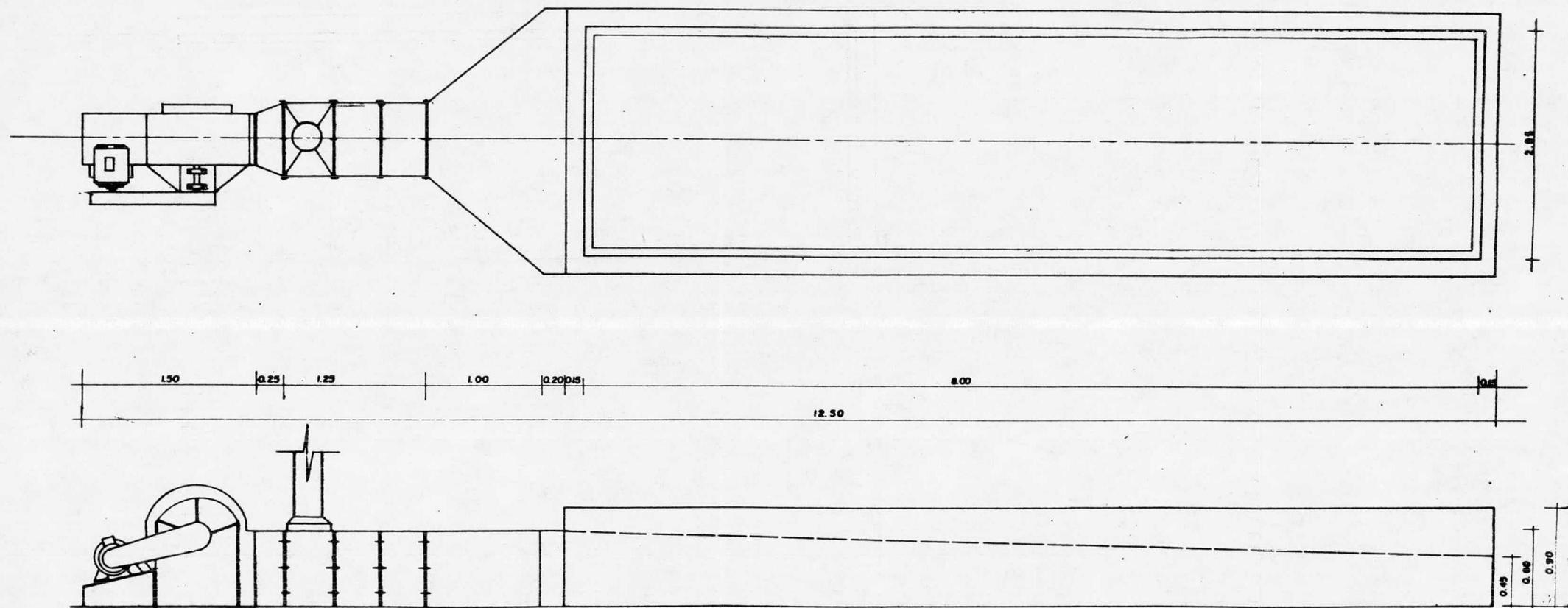


fig. 2

<b>SECADORA PARA CACAO</b>		
<small>CAPACIDAD 1200 kg / cacao seco</small>		
<small>esc: 1:25</small>	<small>act: m</small>	<small>fecha: mayo-77</small>
<small>Proyecto: Juan Manuel Muñoz A.</small>	<small>Dibujó: Juan Manuel Muñoz A.</small>	
<b>FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M</b>		

## EQUIPO DE FERMENTACION

Este equipo es donde se contiene el cacao fresco para que se lleve a cabo la fermentación. La fermentación se hará en cajas de madera, esta madera tiene que ser de tipo no-resinoso preferentemente cedro para no contaminar el grano con olores extraños; la caja no debe tener partes metálicas en contacto con el grano, y se soportará en bases de concreto que dan funcionalidad para poder mover y ordenar las cajas. De lo observado en diferentes regiones cacaoteras de nuestro país, se ha seleccionado este tipo de cajas, por los beneficios que aporta, ya que para hacer las remociones no es necesario que el obrero tenga que entrar a la caja y además cada caja doble cuenta con una pared corrediza en el centro. Con las ranuras que se encuentran en el fondo nos permite una adecuada aereación y drenaje para las exudaciones.

Partiendo de la base de una secadora como la anterior con una capacidad de 1,200 kg./día, se requieren 3 cajas de fermentación por día, o sea, que para mantener operando todos los días - la secadora se necesitan 3 trenes de cajas de 8 cajas cada uno, cada tren de cajas es con el objeto de que el cacao se pase de una caja a la siguiente y para el octavo día, este listo para realizarse el secado; esta es una suposición que se hace para fines de cálculo del número de cajas necesarias.

Dimensiones de caja de fermentación.

$$L = 1.50 \text{ m.}$$

$$A = 1.00 \text{ m.}$$

$$H = 0.75 \text{ m.}$$

$$V = 1.125 \text{ m}^3$$

Capacidad de la caja

$$\text{densidad del cacao fresco} = 900 \text{ kg/m}^3$$

$$M = V\rho = 1,012.5 \text{ Kg. de cacao fresco}$$

Capacidad de la secadora

$$1,200 \text{ Kg. } \frac{\text{cacao seco}}{\text{día}} = 3,000 \text{ Kg. } \frac{\text{cacao fresco}}{\text{día}}$$

Número de cajas por secadora

$$\frac{3,000 \text{ Kg. cacao fresco/día}}{1,012.5 \text{ Kg. cacao fresco/caja}} = 2.96 \text{ cajas/día}$$

Se necesitan 3 cajas de fermentación diarias

Duración de la fermentación = 8 días

Número total de cajas para una secadora

$$3 \text{ cajas/día} \times 8 \text{ días} = \underline{24 \text{ cajas}}$$

## SELECCION DE LAS SECADORAS ROTARORIAS.

En la alternativa 2 se usan secadoras rotatorias, (fig. 5:) que consisten principalmente en un cilindro metálico, que debe ser de acero inoxidable, el cual está soportado sobre su eje - para poder girar libremente con la ayuda de un motor. Existen en el mercado la línea completa para el secado de esta forma, que se ha seleccionado para este caso. En el capítulo siguiente se describe todo el equipo que constituye la línea completa.

Secadora rotatoria = 3.500 kg./carga

Tiempo de secado = 22 horas

El aire calentado a través de un intercambiador, se hace - pasar por un tiro forzado al cacao que esta moviéndose en el interior del cilindro, uniformizándose el secado de esta forma y logrando un mejor contacto entre el aire secante y la superficie del grano.

El equipo completo está formado por:

Unidad de lavado.- Necesario para eliminar los restos de mucílago del cacao, para evitar que se tapen los orificios por donde sale el aire calentado dentro de la secadora.

Unidad de Presecado.- Lleva al cacao de una humedad de alrededor del 60% hasta un 40%. Esto evita el apelotonamiento del cacao dentro de las secadoras y que se lleve al cabo un secado uniforme.

Unidad de Secado.- Son las secadoras rotatorias con su equipo calorífico y mecánico.

Unidad de Clasificado y Limpieza.- Una máquina clasifica el cacao de acuerdo a su peso y tamaño, y después por métodos neumáticos otra máquina elimina las materias extrañas y los granos rotos, germinados, aplastados, etc.

## CAPITULO 5

### REQUERIMIENTOS DE PLANTAS BENEFICIADORAS DE DIFERENTES CAPACIDADES

#### 5.1 DETERMINACION DE LAS CAPACIDADES

La mayoría de las Plantas Beneficiadoras que existen en México son las llamadas centrales de fermentación, las cuales están poseídas por los productores de cacao a través de formas asociativas tales como ejidos, uniones y asociaciones de carácter crediticio en las cuales los mismos productores entregan su cacao para ser fermentado en una operación de maquila.

La capacidad de estas plantas beneficiadoras está en función de la concentración de la producción y de los medios de comunicación existentes. La zona de influencia del cacao a la beneficiadora está ligada íntimamente a las condiciones geográficas de la región. Por lo anterior la producción nacional se divide en regiones (Cuadro I), que en el caso de Tabasco se puede abastecer una beneficiadora con cacao recolectado en cualquier punto de su región, por la accesibilidad que predispone la región por existir facilidad de transportación de la materia prima (cacao fresco) para la beneficiadora. En el caso-



de Chiapas existen áreas con una fuerte dispersión de la producción, como zonas montañosas y selváticas que dificultan la transportación del cacao, lo que provoca que en una región (Cuadro II) no se pueda beneficiar todo el cacao que produce en una sola central de beneficio.

Después de analizar estos factores conjuntamente con los cuadros I y II, se determinaron las capacidades de dos plantas beneficiadoras diferentes para cada uno de los dos casos anteriores.

Para el caso de Tabasco se trabajará con una planta beneficiadora con capacidad de operación de 300 toneladas mensuales y para Chiapas con una planta beneficiadora para procesar 50 toneladas por mes.

Estas dos capacidades no significan que sean las que se deben implantar como óptimas, sino solamente pretenden dar un enfoque realista de algunas necesidades que se pueden presentar y como un análisis comparativo entre las alternativas técnicas y económicas.

De acuerdo a lo anterior, se tendrán dos plantas beneficiadoras de diferente capacidad:



## CUADRO I

PRODUCCION DE CACAO POR REGIONES  
1967-1974  
(TONEELADAS)

REGION	<u>1967</u>	<u>1968</u>	<u>1969</u>	<u>1970</u>	<u>1971</u>	<u>1972</u>	<u>1973</u>	<u>1974</u>
<u>TABASCO</u>								
COMALCALCO	6,726	9,534	9,588	8,138	7,662	11,677	8,896	9,935
LA CHONTALPA	5,761	7,218	7,336	7,439	7,649	11,302	8,119	9,062
CENTRO-SIERRA	3,677	5,298	4,801	4,143	4,207	4,102	4,671	5,234
TOTAL TABASCO	16,164	22,050	21,725	19,720	19,518	27,081	21,686	24,231
<u>CHIAPAS</u>								
PICHUCALCO	1,836	2,424	4,259	3,124	3,355	3,194	2,304	2,210
TAPACHULA	1,983	1,923	2,568	2,128	1,998	1,943	1,156	2,145
TOTAL CHIAPAS	3,819	4,347	6,827	5,252	5,353	5,137	3,460	4,355
TOTAL NACIONAL	19,983	26,397	28,552	24,972	24,871	32,218	25,146	28,586

Fuente: CONADECA

CUADRO II

PRODUCCION ANUAL DE CACAO POR ASOCIACIONES DE LA REGION NORTE DE CHIAPAS EN 1976.

ASOCIACION	PRODUCCION (Kg)
REGION NORTE (PICHUCALCO)	
AMACOITE	273 830.0
ANTONIO LEON	126 280.0
ESTACION CRIMEA (1)	725 378.6
ESTACION JUAREZ	483 600.0
IXTACOMITAN	43 330.0
OSTUACAN	469 000.6
PALMERAS	174 790.0
PICHUCALCO	950 305.0
FRANCISCO LEON	74 935.0
S. AGR. CRIMEA	592 750.0
TOTAL	3914 219.2

Fuente: CONADECA

PLANTA I 300 Ton/mes

PLANTA II 50 Ton/mes

## 5.2 NECESIDADES DE EQUIPO

Para la Planta I se consideran 2 alternativas que se dife--  
rencian básicamente en el equipo de secado y la mecanización del  
proceso. Las alternativas se describieron en el capítulo ante--  
rior, en la alternativa 1 se usan secadoras de tipo túnel empa--  
rrillado y en la otra alternativa son secadoras rotatorias.

### 5.2.1 LISTA DE EQUIPO

#### PLANTA I

Por la estandarización del equipo y capacidad de la plan--  
ta se seleccionó el siguiente equipo:

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
RECEPCION			
4	Carretilla con capacidad para transportar 300 Kg	\$ 976	\$ 3,904

CÁNTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
RECEPCION			
2	Báscula mecánica para almacén tipo portátil con capacidad - pesadora de 500 Kg con respaldo protector de columnas y - ruedas de hierro fundido	\$ 7,050	\$ 14,100
FERMENTACION			
112	Caja doble de fermentación - construída en cedro con medidas interiores de cada cajón de (1.50 x 1.00 x 0.75) m <sup>3</sup>	\$ 2,550	\$ 285,600
4	Termómetro bimetalico con carátula de 3" de $\phi$ , vástago de 1/4 $\phi$ y 24" de longitud en acero inoxidable y graduación de 0° a 100° c	\$ 785	\$ 3,140
10	Pala de madera	\$ 150	\$ 1,500
			\$ 308,244
		CERRADO	\$ 308,500

ALTERNATIVA 1

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
SECADO			
9	Carro transportador con capacidad para 200 Kg	\$ 3,500	\$ 31,500
9	Pileta de secado construída con ladrillo rojo y rebocada con cemento gris de 8 m de largo por 2.0 m de ancho, medidas interiores ( según plano N°2 )	\$ 4,000	\$ 36,000
72	Criba construída de lámina de fierro negro de calibre 16 con barrenos de 1/4" de 2.00 x 1.00 m y ángulo de fierro	\$ 1,500	\$ 108,000
9	Ventilador centrífugo para manejar 10,000 m <sup>3</sup> /hr con una presión de descarga de 110 mm w.c.	\$ 11,114	\$ 100,026
9	Motor eléctrico trifásico de 5 H.P.	\$ 4,680	\$ 42,120
9	Base antivibratoria con tacones de neopreno para el ventilador centrífugo	\$ 4,131	\$ 37,179
9	Transmisión, bandas y poleas para acoplar el ventilador centrífugo y el motor eléctrico	\$ 2,000	\$ 18,000
9	Quemador de olla modificado-recubierto con refractario	\$ 475	\$ 4,275

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
9	Ventilador centrífugo para la cámara de combustión para manejar 270 m <sup>3</sup> /hr con una presión de descarga de 40 mm.c.a.	\$ 2,348	\$ 21,132
9	Motor eléctrico trifásico de 1/2 H.P.	\$ 2,000	\$ 18,000
9	Base metálica para el ventilador centrífugo para la cámara de combustión	\$ 1,000	\$ 9,000
9	Transmisión, bandas y poleas	\$ 1,500	\$ 13,500
9	Tubo de descarga construido de lámina de hierro negro	\$ 300	\$ 2,700
9	Intercambiador de calor 1-1 ( especificaciones según plano N° 1 )	\$ 32,000	\$ 288,000
9	Red de combustible que consta principalmente de: bomba de engranes, válvulas de globo, transmisión y boquilla de 60°	\$ 7,500	\$ 67,500
9	Chimenea construida en lámina de hierro negro de calibre 16 con 8" de $\phi$ y altura suficiente para sobresalir 1 m del lecho superior del techo	\$ 1,250	\$ 11,250
9	Termómetro bimetalico de 0° a 100° c de graduación, con carátula de 3" de $\phi$ , vástago de 1/4" $\phi$ y 12" de longitud	\$ 450	\$ 4,050

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
1	Tanque para combustible, construido en lámina calibre 14 con capacidad para 10,000 l. De forma cilíndrica. Provisto de una entrada de registro para hombre y placas de refuerzo para soportarse en base de concreto		\$ 15,000
10	Rastrillo de madera	\$ 150	\$ 1,500
3	Extintor de fuego de polvo químico, con capacidad de 6.8 Kg	\$ 1,500	\$ 4,500

#### LIMPIEZA Y ALMACEN

1	Gusano transportador helicoidal de 20 m de longitud, construido de lámina negra, con una capacidad de 4,300 Kg/hr		\$ 65,000
1	Gusano transportador helicoidal de 6.0 m de longitud, construido de lámina negra, con una capacidad de 4,300 Kg/hr		\$ 32,500
1	Elevador de cangilones, alimentador de las limpiadoras, a una altura de 4.5 m		\$ 45,000
4	Tolva para recepción, para capacidad para 3.5 ton. cacao seco	\$ 10,000	\$ 40,000

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
4	Limpiadora cilíndrica mecánica con capacidad para 70 Kg por operación	\$ 15,000	\$ 60,000
4	Carretilla con capacidad -- transportadora de 300 Kg	\$ 976	\$ 3,904
2	Báscula mecánica para almacén tipo portátil, con capacidad pesadora de 500 Kg	\$ 7,050	\$ 14,100
116	Tarima construída de maderade ( 1.50 x 1.50 ) m <sup>2</sup> x 0.15 m de altura	\$ 400	\$ 46,400
TOTAL			\$ 1,123,886
TOTAL CERRADO			\$ 1,124,000

#### ALTERNATIVA 2

##### UNIDAD DE LAVADO

1	Banda transportadora de cacao seco nylon dos capas de 21 m		\$ 62,500
3	Máquina zaranda con cedazos, escurridores y lavadores de acero inoxidable con motores de 3 H.P.	\$ 23,750	\$ 71,250

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
3	Bomba centrífuga, elevadora de cacao a una máxima altura de 8 m de bronce fosforado	\$ 19,300	\$ 57,900

UNIDAD DE PRESECADO

1	Máquina oreadora 32 m x 0.70 m Sistema Escalonado en 2-secciones de 16 m c/u		\$ 543,750
1	Banda transportadora que alimenta al gusano transportador, que a su vez alimenta a las secadoras, de 23 m de longitud		\$ 76,650

UNIDAD DE SECADO

1	Gusano transportador helicoidal de 12 m de longitud con motor de 1.5 H.P. de acero inoxidable y acoplado con bajantes para alimentar a las secadoras		\$ 71,000
3	Tolva de madera con capacidad de 9 ton. de cacao fresco	\$ 25,600	\$ 76,800
3	Máquina secadora para cacao, completa con su horno, tambor, motor, poleas, transmisiones. Con capacidad para 9 ton. cacao fresco, 3.5 ton. cacao fresco	\$ 310,400	\$ 931,200

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
3	Tolva de descarga de 3.5 ton	\$ 7,500	\$ 22,500
1	Estructura metálica para soporte de tolvas, pasillos y pasamanos		\$ 130,000
UNIDAD DE CLASIFICADO Y LIMPIEZA			
1	Elevador de cangilones, alimentador de la clasificadora		\$ 100,000
1	Máquina clasificadora de cacao seco, contiene una criba cilíndrica de 70 cm giratoria que clasifica el cacao en tres tamaños con tolva para capacidad de 1,000 Kg		\$ 157,000
1	Banda transportadora del grano clasificado		\$ 31,500
1	Máquina catadora neumática		\$ 46,500
1	Zaranda, cedazo vibratorio		\$ 29,500
4	Carretilla con capacidad para transportar 300 Kg	\$ 976	\$ 3,904
2	Báscula mecánica para almacén tipo portátil con capacidad pesadora de 500 Kg	\$ 7,500	\$ 14,100
116	Tarima construída de madera de (1.50 x 1.50)m <sup>2</sup> x 0.15 m de altura	\$ 400	\$ 46,400

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
3	Extinguidor de fuego de polvo químico, con capacidad de 6.8 Kg	\$ 1,500	\$ 14,100
1	Tanque para combustible, construido en lámina calibre 14 con capacidad para 10,000 l. de forma cilíndrica		\$ 15,000
			\$ 2,492,454
		TOTAL CERRADO	\$ 2,493,500

CANTIDAD	DESCRIPCION	COSTO UNIT.	COSTO TOTAL
PARA LAS DOS ALTERNATIVAS			
LABORATORIO			
1	Escritorio con sillón		\$ 2,500
1	Gabinete		\$ 3,000
1	Higrómetro, rango de 0 a 100 %		\$ 18,620
1	Licuadaora para quebrar - granos		\$ 600
OFICINA			
1	Escritorio con sillón		\$ 3,000
1	Archivero de 4 cajones		\$ 2,000
1	Sofá		\$ 3,000
1	Máquina de escribir		\$ 4,300
1	Cálculadora mecánica pa ra escritorio		<u>\$ 3,000</u>
			\$ 40,020

## EQUIPO PLANTA II

Se estimó la necesidad de equipo para la capacidad de 50 toneladas mensuales de cacao seco, en base a la capacidad de las - secadoras (1200 kg./día ) que en este caso son de tipo túnel - emparrillado ya que no amerita esta producción considerar como alternativa a las secadoras rotatorias, ya que quedaría demasiada capacidad ociosa. A partir de 2 secadoras se calculó todo el - equipo restante, necesario para el funcionamiento en todas sus - etapas del proceso y funcionamiento de la planta. Solamente se indica el costo del equipo en cada una de las áreas, el costo del equipo incluye el flete e instalación del mismo.

Area	Costo
Recepcion	\$ 9,008
Fermentación	63,370
Secado	199,096
Limpieza y Almacen	35,202
Laboratorio y Oficina	<u>40,020</u>
Costo total del Equipo	\$ 346,696
Cerrado	\$ 347,000

5.3 PERSONAL

5.3.1 MANO DE OBRA DIRECTA

Las necesidades diarias de mano de obra son las siguientes:

	PLANTA I		PLANTA II	
	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2		
Recepción	16 horas hombre	16 h h	8	h h
Fermentación	65 " "	65 " "	16	" "
Lavado		8 " "	8	" "
Presecado		8 " "		
Secado	34 " "	14 " "		
Carga	20 " "	5 " "	5	" "
Descarga	18 " "	4 " "	4	" "
Clasificación y Limpieza de Grano	18 " "	2 " "	4	" "
Envasado	16 " "	16 " "	4	" "
Almacenado	8 " "	8 " "	2	" "
Limpieza del Local	12 " "	10 " "	5	" "
TOTAL	207 horas hombre	156 " "	56	" "

Por ser la fermentación una de las etapas críticas del proceso de beneficio, requerirá que todos los días sin excepción, se realice la remoción del cacao. Por lo cual, la planta debe ope--rar los siete días de la semana y es necesario contar con perso--nal adicional al requerido diariamente, por el día de descanso obligatorio de cada uno de ellos durante la semana.

	<u>N° obreros que se necesitan</u> <u>contratar</u>
ALTERNATIVA 1	30 Obreros
PLANTA I	
ALTERNATIVA 2	22 Obreros
PLANTA II	8 Obreros

### 5.3.2 SUPERVISION

#### PLANTA I :

Para supervisar el trabajo de la beneficiadora se contaría con los servicios de 2 personas que controlarían la recepción, vigilarían las remociones en la sala de fermentación y secado, las maniobras de carga y descarga, limpieza, envasado y almacenamien--to.

## PLANTA II

Una sola persona realizaría las funciones de supervisión.

### 5.3.3 PERSONAL ADMINISTRATIVO

Tanto para la Planta I y Planta II las labores administrativas serán manejadas por una sola persona que llevará los registros de la recepción y salida de productos, así como, de los gastos y costos de la operación de beneficio. Esta persona será la responsable del funcionamiento y manejo de la beneficiadora.

### 5.4 OBRA CIVIL

Se seleccionó una construcción similar a las actualmente construidas con piso de concreto, trabes y columnas de concreto armado, - paredes de block y celosía y techo de lámina asbesto tipo estructu---  
ral.

#### PLANTA I

		Area a Construir
Alternativa 1	plano N° 4	1979 m <sup>2</sup>
Alternativa 2	plano N°5	2058 m <sup>2</sup>

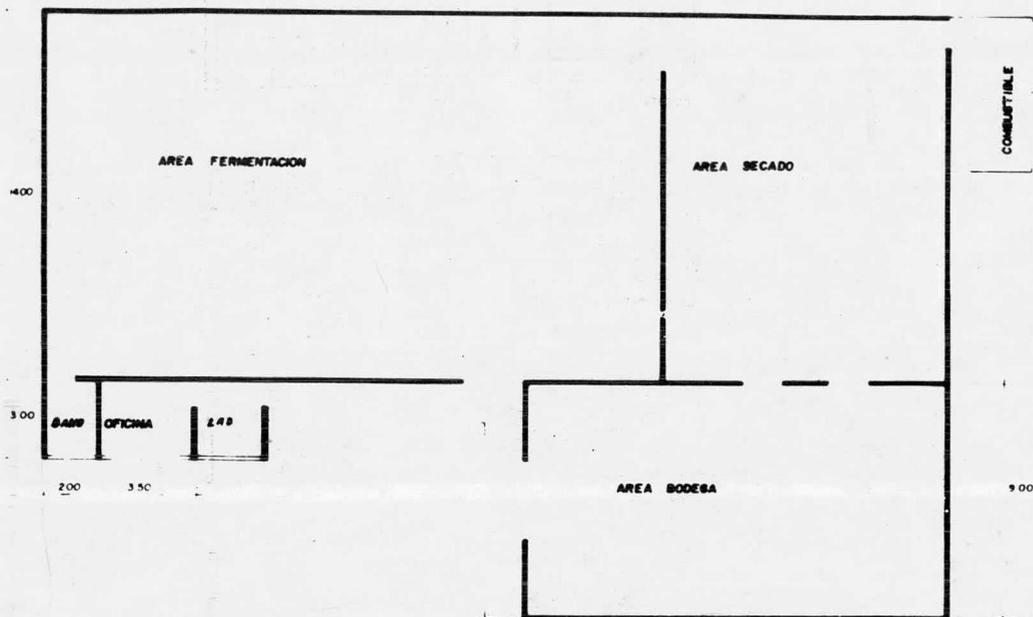
#### PLANTA II

	plano N°3	717 m <sup>2</sup>
--	-----------	--------------------

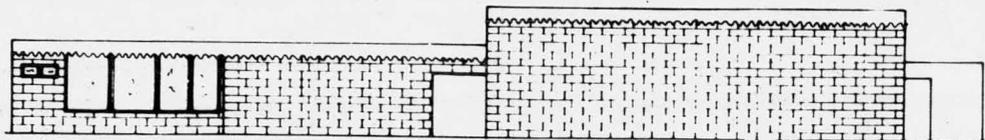
14.00

23.00

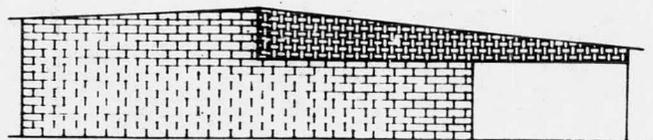
1.00



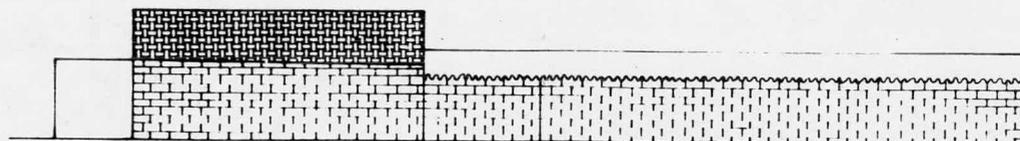
CONSTRUCTIBLE



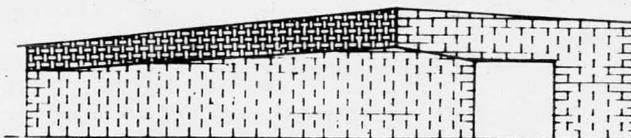
FRENTE



LADO DERECHO

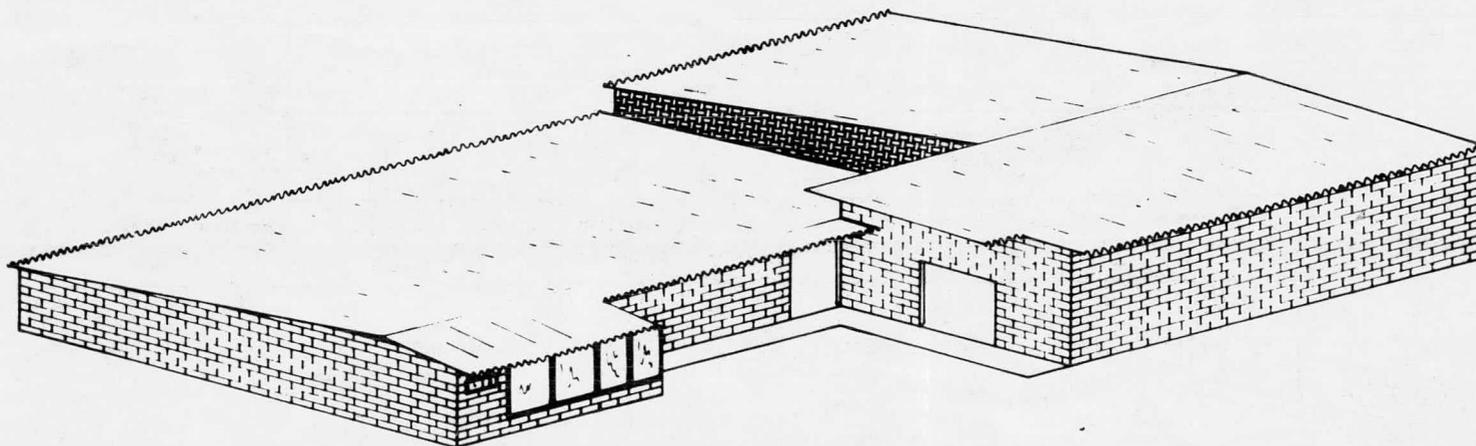


LADO POSTERIOR



LADO IZQUIERDO

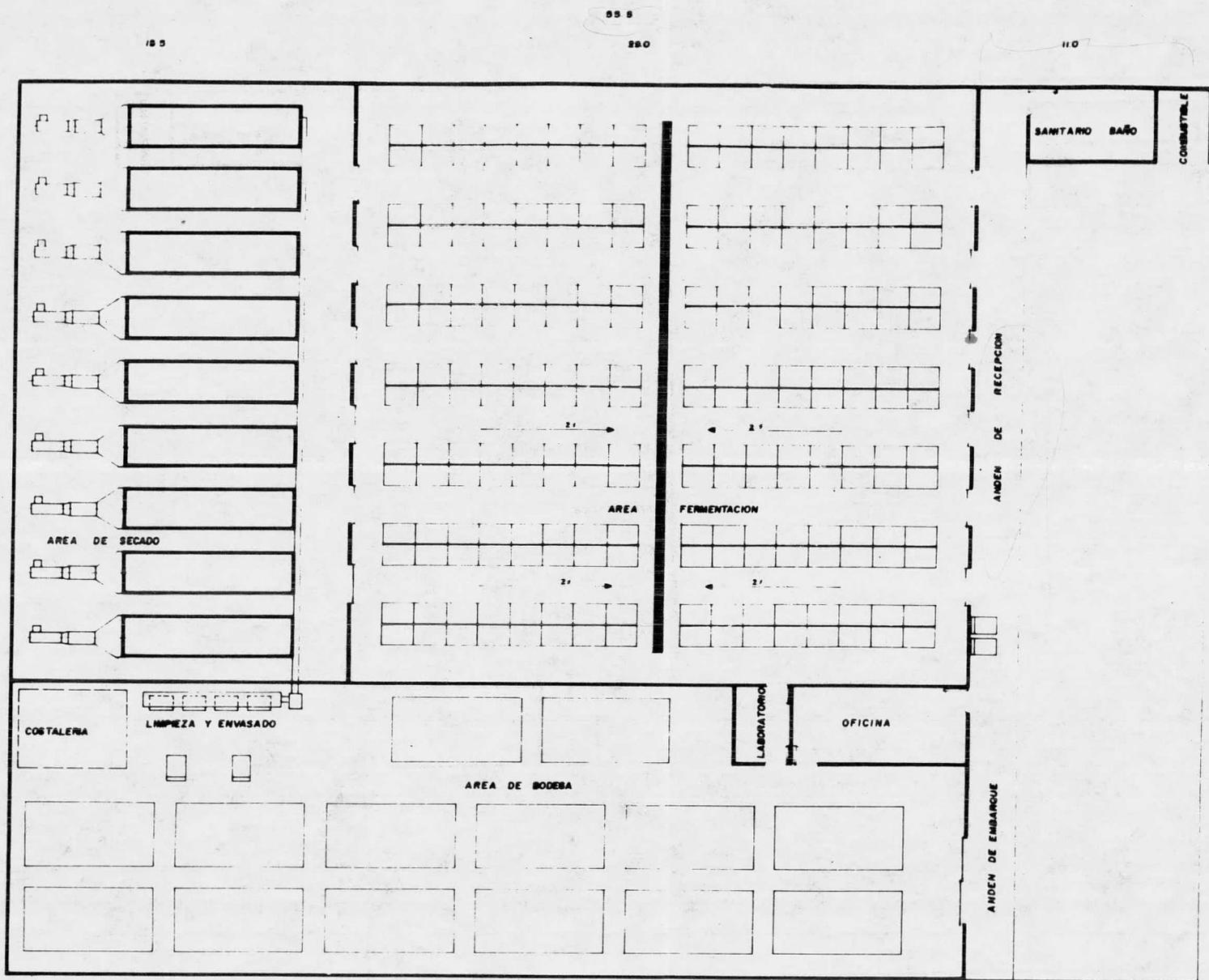
2.50  
1.50  
4.50  
5.00



AREA	m <sup>2</sup>
FERMENTACION	322.00
SECADO	154.00
ALMACEN	144.00
BAÑO	6.00
OFICINA	10.50
AREA CONSTRUIDA	636.50
AREA DE TERRENO	900.00

TECHO: LAMINA DE ASBESTO  
 PISO: CONCRETO  
 PAREDES: BLOCK TABICON, CELOSIA

**PLANO ARQUITECTONICO**  
**PLANTA BENEFICADORA DE CACAO**  
**Capacidad 50 ton/mes Cacao Seco**  
 PROYECTO: Juan Manuel Muñoz A. DISEÑO: Juan Manuel Muñoz A.  
 Estado: T. 100. Escala: 1:100. Fecha: 1977. PLANO 3  
**FACULTAD DE QUIMICA UNAM**



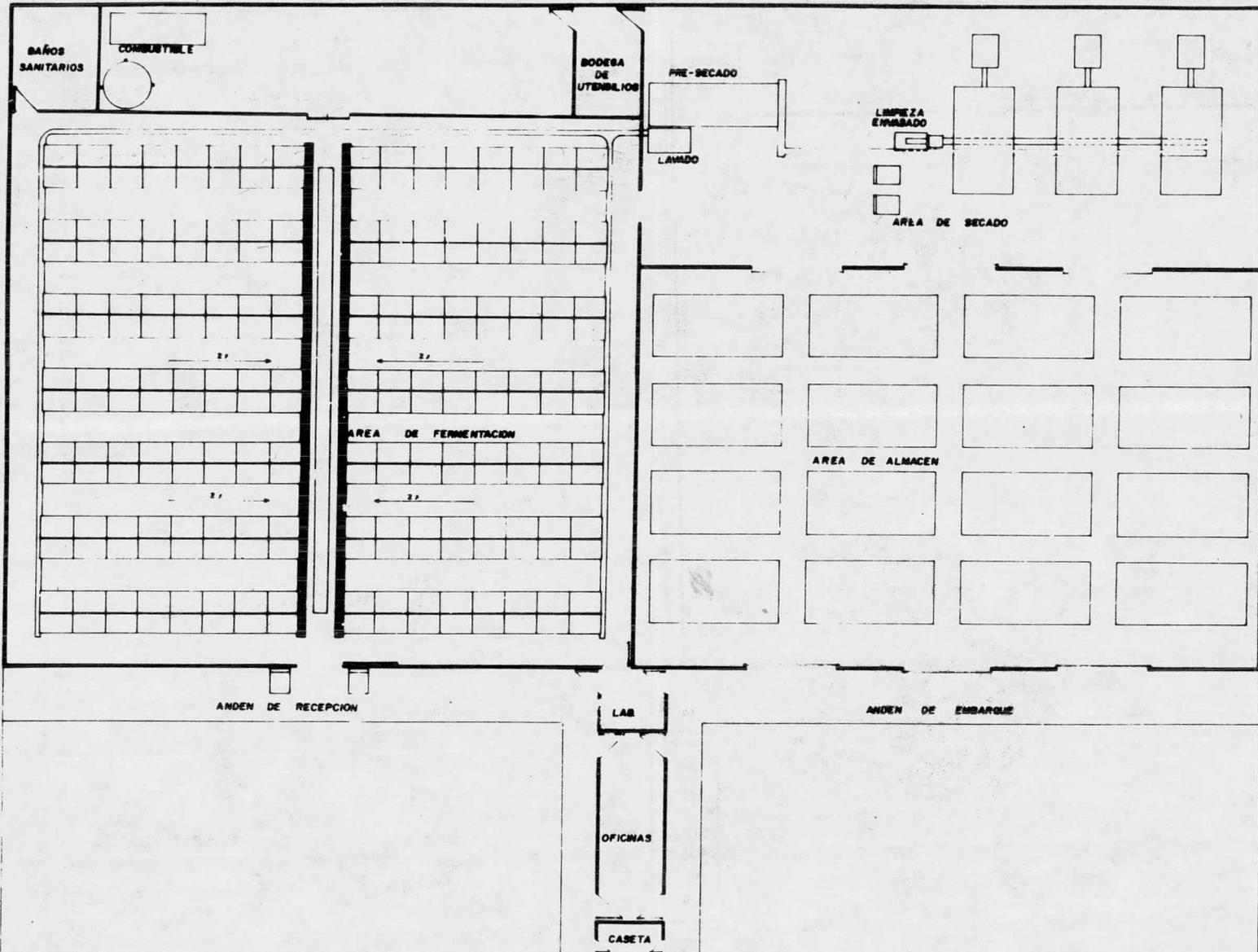
AREA	m <sup>2</sup>
FERMENTACION	612.00
SECADO	434.00
ALMACEN	809.00
CONSTRUIDA	1979.00
TERRENO	2331.00

**DISTRIBUCION DE AREAS Y  
DISPOSICION DE EQUIPOS**  
**PLANTA BENEFICADORA PARA PROCESAR  
300 tm/año Cacao Seco**  
 Proyecto: Juan Manuel Muñoz Aguilera | Dibujo: Juan Manuel Muñoz Aguilera  
 Plano No. 4 | Escala: 1/100 | Asentado en: Puebla | Diciembre - 1977  
 FACULTAD DE QUIMICA U.N.A.M.

29

58.00

23.00



12.50

19.00 44.75

13.25

AREA	m <sup>2</sup>
FERMENTACION	595.50
SECADO	592.50
ALMACEN	581.00
CONSTRUIDA	2 089.00
TERRENO	2 995.00

**DISTRIBUCION DE AREAS Y DISPOSICION DE EQUIPOS**  
**PLANTA BENEFICIA DORA PARA PROCESAR 300 TON/MES CAFE SECO**  
 Proyecto: Juan Manuel Muñoz Aguirre    Diseño: Juan Manuel Muñoz Aguirre  
 Plano No 5    Escala: 1:100    Aprobado en:    Fecha: Diciembre 1977  
 FACULTAD DE QUIMICA    U.N.A.M.

26

## 5.5 SERVICIOS

Son requisitos indispensables para el buen funcionamiento de una planta beneficiadora, los siguientes servicios; agua, drenaje, suministro eléctrico trifásico y disponibilidad de combustible ( petróleo diáfano ). Por lo que el terreno a elegir debe contar con estos servicios y localizarse en una zona no urbana, cercana a la ciudad.

## CAPITULO 6

### ESTIMACION DE LA INVERSION Y DE LOS COSTOS DE PRODUCCION

#### 6.1 CONSIDERACIONES

Los productores de cacao entregan su cacao fresco en las centrales de fermentación y reciben el valor que corresponde al rendimiento a cacao seco lavado. Después de procesar el cacao, está listo para ser comercializado. Existen dos organismos que se encargan de la comercialización del cacao, en el estado de Tabasco realiza esta función la Unión Nacional de Productores de Cacao y en el estado de Chiapas, la Comisión Nacional del Cacao. Sólo a través de estos organismos los productores pueden comercializar su cacao. El cacao tiene un precio de garantía, denominado precio de anticipo, el cual se recibe al entregarse el cacao. De acuerdo a la comercialización, con los precios de venta que se consigan internacionalmente y el precio fijo en el mercado nacional, las utilidades se reparten entre los productores quienes reciben un remanente, adicional al precio de anticipo. Por lo anterior la planta beneficiadora operaría como una maquiladora por lo cual no se estimaron inventarios de materia prima

ni gastos de comercialización.

El ingreso por concepto de maquila sería de \$ 2.00/Kg de cacao fermentado seco, que es la diferencia del anticipo de cacao fermentado ( \$ 35.50/Kg seco ) y el anticipo de cacao lavado ( \$ 33.50/Kg seco ).

Tanto para los ingresos como para los renglones de costos e inversión se consideran precios constantes.

Los productores deben formar una Sociedad que sea sujeto de crédito y asimismo que la inversión inicial se cubra - con un crédito refaccionario de un banco oficial.

La amortización del préstamo no se haría a través de las ganancias sino como un costo fijo, que se pagaría totalmente en 5 años.

Las estimaciones y cotizaciones sobre el costo de los equipos y construcciones, sólo tienen carácter indicativo. La - planta operaría generalmente 10 meses por año.

6.2 ESTIMACION DE LA INVERSION

PLANTA I

A.- INVERSION INICIAL ESTIMADA

	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
1. Terreno	352,500	390,000
2. Equipos: (Incluye flete e instalación)		
- Fermentación	308,500	308,500
- Secado y clasificación	1,124,000	2,493,500
- Oficina y Laboratorio	40,000	40,000
3. Obra Civil		
- Para instalación del equipo	1,980,000	2,060,000
- Local		263,000
4. Instalación Eléctrica In- terna	120,000	120,000
5. Ampliación Servicio Eléc- trico	75,000	75,000
6. Gastos de Preoperación y Arranque	218,000	255,000

7.	Imprevistos (10%)	421,800	600,500
	TOTAL	\$ 4,639,800	6,605,500
	TOTAL CERRADO	\$ 4,640,000	6,605.000

B. ESTIMACION DEL CAPITAL DE TRABAJO  
(Para operar por dos meses )

ALTERNATIVA 1

ALTERNATIVA 2

1.	Servicios		
	- Combustible *	121,500	123,000
	- Electricidad **	36,960	48,720
2.	Mantenimiento	3,084	16,890
3.	Sueldos y Salarios	190,800	40,925
4.	Prestaciones (28%)	53,424	
5.	Otros		
	- Impuesto Predial	5,832	6,782
	- Seguro ***	19,744	22,142
	- Varios (5%)	<u>21,567</u>	<u>20,231</u>
	TOTAL	\$ 452,911	\$ 424,850
	TOTAL CERRADO	\$ 452,911	\$ 425,000

C. INVERSION TOTAL

A + B = C                      \$ 5,093,000                      \$ 7,030,000

\* El costo del petróleo se estimó en \$ 0.60/litro

\*\* Se aplicó la tarifa N° 2 vigente de la C.F.E.

\*\*\* Incluye el seguro del grano en bodega

D. COSTO DE MANUFACTURA  
(Anual 3,000 Ton.)

		ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
1.	Directo		
1.1	Mano de Obra	\$ 837,000	\$ 613,800
1.2	Servicios	792,300	858,600
1.3	Mantenimiento		
	- Mano de Obra	10,800	16,200
	- Refacciones y mate riales	18,500	101,350
1.4	Supervisión	<u>86,400</u>	<u>86,400</u>
		\$ 1,745,000	\$ 1,676,350

2. Costo Fijo

2.1 Depreciación y Amortización. Se estimó en tal forma que cubra el pago uniforme anual del principal (Crédito Refaccionario)

\$ 928,000                      \$ 1,321,000

2.2 Seguro

118,464                      132,852

2.3 Otros

34,992                      40,692

\$ 1,081,456                      \$ 1,494,544

ALTERNATIVA 1      ALTERNATIVA 2

3. Gastos de Planta

Prestaciones

\$ 258,552                      \$ 196,056

D = 1 + 2 + 3

\$ 3,085,008                      \$ 3,366,950

E. GASTOS GENERALES

1. Administrativos

\$ 69,120                      \$ 69,120

2. Financieros

ALTERNATIVA 1

Tasa de interés anual sobre crédito refaccionario

$$i_r = 13.5 \%$$

Tasa de interés anual sobre crédito de avío

$$i_{CT} = 13.5 \%$$

R = Pago anual de crédito refaccionario

P = Principal

n = Número de Períodos

$$R = \frac{P}{N}$$

P = \$ 4,640,000

C.T. = \$ 453,000

n = 5 años

$I_{CT} = \$ 61,155$

R = \$ 928,000

AÑO	PRINCIPAL	$I_r$	$P_r$	$I_t$
0	4,640,000			
1	3,712,000	626,400	928,000	687,555
2	2,784,000	501,120	928,000	562,275
3	1,856,000	375,840	928,000	436,995
4	928,000	250,560	928,000	311,715
5	0	125,280	928,000	186,435

2. Financieros

ALTERNATIVA 2

$$i_r = 13.5 \%$$

$$i_{CT} = 13.5 \%$$

$$R = \frac{P}{n}$$

$$P = \$ 6,605,000$$

$$C.T. = \$ 425,000$$

$$n = 5 \text{ años}$$

$$I_{CT} = \$ 57,375$$

$$R = \$ 1,321,000$$



F. COSTO TOTAL PARA PROCESAR 3,000 Ton/Año \*

AÑO	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2
1	\$ 4,157,096 (1.385 \$/Kg)	\$ 4,728,727 (1.576 \$/Kg)
2	4,031,816	4,550,392
3	3,906,536	4,372,057
4	3,781,256	4,193,722
5	3,655,976	4,015,387

G. INGRESOS POR CONCEPTO DE MAQUILA

3,000 Ton. x 2,000 \$/ton. = \$ 6,000,000

H. UTILIDAD

AÑO		
1	\$ 1,842,904	\$ 1,271,273
2	1,968,184	1,449,608
3	2,093,464	1,627,943
4	2,218,744	1,806,278
5	2,344,024	1,984,613

\* Se incluye 10% como factor de contingencias, exceptuando este factor a los gastos financieros.

I. RENTABILIDAD

A)

1. Flujo de Efectivo = Ingresos + Depreciacion  
Financieros - Costo Total

ALTERNATIVA 1

ALTERNATIVA 2

AÑO

1	\$ 3,458,459	\$ 3,541,323
2	\$ 3,458,459	\$ 3,541,323
3	\$ 3,458,459	\$ 3,541,323
4	\$ 3,458,459	\$ 3,541,323
5	\$ 3,458,459	\$ 3,541,323

2. Inversion Inicial

Estimada \$ 4,640,000 \$ 6,605,000

3. Valor de Resca  
te (de obra, ci  
vil, equipo y -  
terreno)

Después de 5 años \$ 2,768,750 \$ 3,782,030

B) RENTABILIDAD INTERNA \*

Método de flujo de caja descontado

Tasa interna de Retorno

ALTERNATIVA 1

ALTERNATIVA 2

75 %

50 %

\* Para la operacion de maquila

Como una prueba de sensibilidad se efectuaron los cálculos para estimación de costos a 75% y 50% de la capacidad total de la planta, usando como indicador la rentabilidad interna para cada caso.

RENTABILIDAD INTERNA

ALTERNATIVA 1 ALTERNATIVA 2

CAPACIDAD

75 %	48 %	33 %
30 %	26 %	16 %

6.3 ESTIMACION DE LA INVERSION Y DE COSTOS DE PRODUCCION DE LA  
PLANTA II

A.	INVERSION INICIAL ESTIMADA	\$ 1,488,000
B.	CAPITAL DE TRABAJO	117,000
C.	INVERSION TOTAL	1,605,000
D.	COSTO DE MANUFACTURA (500ton. mensuales)	812,357
E.	GASTOS GENERALES al 1er. año	216,675
F.	COSTO TOTAL	1,186,000
G.	INGRESOS POR CONCEPTO DE MAQUILA	1,000,000
H.	UTILIDAD (No existe en los primeros 5 años)	- 186,300
I.	RENTABILIDAD INTERNA	
	Tasa interna de retorno	17%

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 EL PROCESO FERMENTATIVO Y SU IMPORTANCIA

En el proceso fermentativo se trata el cacao bruto para obtener un producto de mejor aspecto y comercializable, con el desarrollo de los precursores del sabor y aroma características del chocolate.

Para que ocurran estos cambios es necesario provocar en el grano una serie de reacciones de tipo bioquímico, que se logran en la etapa de fermentación en el proceso de beneficio, continuando algunas de estas aun en el secado.

Solamente a través de este proceso efectuado en condiciones correctas, se puede obtener un cacao con todas sus propiedades bien desarrolladas en beneficio a su calidad.

México es uno de los pocos países que no fermentan totalmente su producción, por lo tanto, el mercado nacional consume básicamente cacao lavado (cacao no fermentado) y todavía algunos excedentes se exportan en esta forma la cual generalmente tiene un menor precio en el mercado internacional con respecto al cacao fermentado.

Para lograr fermentar los excedentes de la producción, es necesario establecer un programa a mediano plazo para la instalación de centrales de beneficio en las regiones con mayor recolección y que actualmente no cuentan con estas plantas beneficiadoras, además de la ampliación y renovación de las existentes, concordante a los incrementos en la producción.

## 7.2 ALGUNAS VENTAJAS QUE IMPLICA UNA BENEFICIADORA AL SECTOR CACAO TERO NACIONAL

Las ventajas que ofrece una planta beneficiadora de cacao a los productores asociados que entregan su producto son las siguientes:

El cacao es entregado fresco y reciben el anticipo que corresponde al equivalente en peso a cacao lavado seco; el productor se desentiende de las faenas que acarrear el lavado y secado del grano ahorrándose la mano de obra y algunos materiales utilizados para estos efectos; asimismo, las condiciones climatológicas adversas para el secado del cacao al sol no son un factor desfavorable para su productividad en cuestión de beneficio; los productores reciben remanentes de cacao fermentado, que son considerablemente superiores a los correspondientes para cacao lavado.

Las beneficiadoras hacen posible la tecnificación de las diversas fases del proceso fermentativo, además de que genera una actividad de tipo industrial en las propias zonas cacaoteras y permiten aprovechar las economías de escala para el abatimiento de los costos de operación.

## 7.3 ALGUNOS ASPECTOS TECNICOS EN EL BENEFICIO

Cuando se trata de una beneficiadora que opera continuamente y maneja capacidades considerables, se ve claramente la necesidad de contar con equipo de secado artificial y resulta muy práctico y económico utilizar secadoras de tipo túnel emparrillado que son del tipo tradicional con las modificaciones del equipo calorífugo y la inclinación del túnel emparrillado, para obtener una mejor eficiencia y un cacao sin

contaminación de olores extraños que pudieran ser añadidos en la etapa del secado.

Se propone el diseño de un intercambiador de calor que puede ser adaptado fácilmente a las secadoras actuales y además el arreglo se hizo de tal forma que presente fácil acceso para sus servicios.

#### 7.4 CONCLUSIONES TECNICAS Y ECONOMICAS PARA LA SELECCION DE UNA PLANTA BENEFICIADORA

Se debe buscar el mayor abatimiento posible en la inversión inicial como lo demuestra en la selección de las alternativas. Ya que en la alternativa 2, donde la planta esta más mecanizada y cuenta con equipo mas sofisticado resulta menos la rentabilidad del proyecto que en la alternativa 1, donde se puede obtener el mismo servicio, capacidad y calidad que en el otro caso. En el momento en que sea inoperante el equipo o las instalaciones, ya demostrada la buena factibilidad, se puede reunir un fondo de reinversión o conseguir otro crédito refaccionario con una tasa de interés baja (proveniente de la Banca Oficial), para ampliar o renovar los equipos e instalaciones de la planta beneficiadora.

Después de que el cacao es fermentado es innecesario e incosteable la práctica de lavar el grano para eliminar por completo el mucílago; solamente en el caso de secadoras rotatorias es necesario debido a que el mucílago llega a obstruir los orificios por donde fluye el aire secante y evita también el aglomeramiento de los granos.

En el caso de la planta I, que es para una capacidad de 300 toneladas mensuales resulta muy atractiva la inversión, cuando se puede contar con esa cantidad de cacao para beneficiar.

Pero en el caso de la planta II (50 ton./nes) no es conveniente la instalación de una planta de esta capacidad o menor, ya que no son suficientes los \$ 2.00 que recibe de diferencia la beneficiadora, por lo cual se debe proponer un aumento en la cuota de beneficio para que despierte el interés de los productores a promover la fermentación con la implantación de nuevas centrales de beneficio.

Un factor muy importante para la instalación de una beneficiadora, es que cuando se carece de una de estas, una cantidad considerable de cacao se pierde, por que frecuentemente coincide la temporada lluviosa con la cosecha y resulta dificultoso desecar los granos sin que exista el desarrollo de mohos y perjudiquen su calidad. Por lo cual la relación beneficio costos en estas beneficiadoras resulta generalmente mayor de 1.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- BABCOCK Y WILCOX .- Steam, it generation and use. Trigésima octava edición. Babcock and Wilcox Company, New York, 1972.
- 2.- BRADEAU, JEAN .- El Cacao. Colección Agricultura Tropical. Primera edición. Editorial Blume. Barcelona, 1971.
- 3.- BURLE LOUIS.- Le Cacaoÿer. G.P. Maisonneuve. Et Larose, 11, Rve Victor. Cousin, 11. Paris, tomos I y II 1961-1962.
- 4.- BYWATERS, H.W..- Modern Methods of Cocoa and Chocolate Manufacture. J. and A. Churchill. London, 1930.
- 5.- COCOA BEAN TESTS 1961/62.- Gordian Publishng House. Hamburg.
- 6.- COOK, L. RUSSELL.- Chocolate Production and Use. Publicada por Books for Industry Inc., Subsidiaria de Magazines for Industry Inc. New York, 1953.
- 7.- CHATT, E.M. .- Cocoa Cultivation Processing Analysis. Interscien<sub>ie</sub> Publishers Inc. New York, 1953.
- 8.- CHEMICAL ENGINEERING.- Heat Exchanger, Calculation Desing. Reprint de la Revista Chemical Engineering. McGraw-Hill Publication.
- 9.- DE CECCO GIANNETTO.- La fermentación del Cacao . Folleto programado por la compañía Nestle.
- 10.- DE GARMO, PAUL E..- Engineering Economy. Cuarta edición. Collier Mac Millan, Ltd. 1969.
- 11.- FAN ENGINEERING. Publicado por Buffalo Forge Company. Séptima edición. Editado por Robert Jorgesen, Buffalo, New York, 1970.

- 12.- FLAKT.- SF de México, S.A. Catálogo general.
- 13.- HARDY, F.- Cacao Manual. Interamerican Institute of Agricultural Sciences. Turrialba, Costa Rica, 1968.
- 14.- HOUGEN, O.A., WATSON, K.M. y RAGATZ, R.A.- Principios de los procesos químicos. Tomo I. Editorial Reverte, S.A. 1964.
- 15.- INDUSTRIAL VENTILATION.- Comittee on Industrial Ventilation. - Decimo tercera edición Litografiado por Edwards Brothers Inc. - U.S.A., 1974.
- 16.- KERN, DONALD O.- Process Heat Transfer. McGraw-Hill Book Company. New York, 1950.
- 17.- McCABE, W.L. y SMITH, J.C.- Unit Operations of Chemical Engineering. Tercera edición. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd. 1976.
- 18.- NOSTI NAVA, JAIME.- Café Cacao. 2a. edición. Edición Revolucionario. Instituto del Libro. 1970.
- 19.- PERRY, R.H. y CHILTON, C.H.- Chemical Engineers' Hand boock. Quinta edición. McGraw-Hill Koga kusha, Ltd. 1973.
- 20.- PETERS, M.S. Y TIMMERHAUS, K.D.- Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Segunda edición. McGraw-Hill Book Company. Tokyo, 1968.
- 21.- QUESNEL, V.C.- Cacao Leucocyanidins and the browning reation of cacao. Annual Report on cacao research. I.C.T.A. Trinidad, 1967.
- 22.- QUESNEL, V.C.- Química y Tecnología de la cura del Cacao. Bole-tín informativo. Ministerio de Agricultura y Cía. Estación ex-perimental de cacao. Caucagua, Venezuela. Vol. VII No. 2 Abril Junio, 1971.

- 23.- RASE, H.F. y BARROW, M.H.- Ingeniería de Proyectos para Plantas de Proceso. Compañía Editorial Continental. Primera Edición en Español, 1973.
- 24.- ROHAN, T.H..- El beneficio del cacao bruto destinado al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1964.
- 25.- ROHSENOW, N.M. y HARTNETT, J.P.- Handbook of Heat Transfer. - McGraw-Hill Inc. 1973.
- 26.- TABOADA RAMIREZ, E.- Pérdida de peso durante la fermentación y el secado del cacao. Agricultura técnica en México 2(6); 242-249,1966.
- 27.- TAYLOR, G.A.- Ingeniería Económica. Primera edición. Editorial Limusa Niley, S.A. México, 1970.
- 28.- TREYBAL, R.E..- Mass Transfer Operations. Segunda edición. - McGraw-Hill Book Company. Tokyo
- 29.- TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION, INC.- Standar of Tubular Exchanger Manufacturers Association. Quinta edición. New York, 1968.
- 30.- URQUHART, D.H.- Cacao. Edición Revolucionaria. Instituto del - Libro. 1960.



## Impresiones Lupita

MEDICINA No. 25  
FRACC. COPILCO UNIVERSIDAD  
CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F.  
TEL. 548-49-79



**FACULTAD DE QUIMICA**  
**BIBLIOTECA**

1970

1970

1970

1970