

Diseño de una Línea Procesadora de Pasta de Cacao Artesanal (*Theobroma cacao*.)

Juan Carlos Plúa C., M. Sc Fabiola Cornejo Z.
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Campus Gustavo Galindo Velasco, Km. 30.5 Vía Perimetral, Apartado: 09-01-5863, Guayaquil, Ecuador.
jplua@espol.edu.ec , fcornejo@espol.edu.ec

Resumen

El presente trabajo describe el diseño de una línea artesanal procesadora de pasta de cacao. En donde se describen las etapas que implican la transformación del grano en pasta, con la finalidad de obtener, un producto de la mejor calidad organoléptica. Se definen los parámetros del proceso empezando con la temperatura de tueste. Para esto, se tuestan varias muestras de grano de cacao a diferentes temperaturas para determinar cuál es la temperatura óptima para el proceso. Luego, se realiza una prueba organoléptica para definir el grado de temperatura más idóneo para el tueste. Además, se realiza una curva de tostado del grano, con el propósito de definir el tiempo ideal en que se deberá tostar el mismo, en función de la humedad inicial que el grano presente. También, se especifica la capacidad de los equipos que utilizarán para el proceso. Por último, se propone un Layout de la planta y se realiza un análisis de costos, en donde se determina el punto de equilibrio y el tiempo de recuperación de la inversión. Como resultado de la experimentación se obtuvo que el tostado debe ser a 150 ° C, y el tiempo de tueste, estará en función de la humedad inicial del cacao. Además, la inversión se recupera al segundo año de trabajo.

Palabras Claves: *Tostado, Prueba Organoléptica, Layout, cacao.*

Abstract

This paper describes the design of a line of handmade cocoa mass processing. In that describes the steps involved in the processing of grain in liquor, with the aim of obtaining a product of the best organoleptic quality. The parameters of the process are defined, starting with the temperature of roasting. For this, several samples of cocoa beans are roasted at different temperatures to determine the optimum temperature for the process. Then, an organoleptic test is made to define the degree of temperature most suitable for roasting. In addition, there is a curve of roasting, with the aim of defining the ideal time to roast the beans, depending on the initial moisture present. It also specifies the capacity of the machinery that will be used to the process. Finally, is proposed a layout of the plant and an analysis of costs. As a result of the experiment was obtained that must be roasted at 150 ° C, and the roasting time will depend on the initial moisture of cocoa.

Keywords: *Roasting ,Organoleptic test, Layout, cocoa.*

1. Introducción

La producción cacaotera ha ocupa buena parte de la superficie agrícola del país y de la subregión andina. En el caso de la provincia del Guayas, es la segunda del país con mayor producción de cacao con un 22 % de la superficie total de cacao arriba. Por esta razón, el presente proyecto describe el proceso de implementación de una planta artesanal procesadora de pasta de cacao.

Por medio de un convenio suscrito entre La Universidad Politécnica Del Litoral y el Codepmoc (Consejo de Desarrollo del Pueblo Montubio de la Costa Ecuatoriana y Regiones Subtropicales del

Litoral), se optó por estudiar la viabilidad de montar una fábrica artesanal procesadora de pasta de cacao en el cantón de Milagro, provincia del Guayas.

La implementación de la planta generará más recursos y empleo en la zona, así como dará un valor agregado al grano de cacao, permitiendo su comercialización como una pasta de la mejor calidad de sabor y aroma.

En este trabajo se definen los parámetros óptimos con los que se deberá procesar el grano, con el objetivo de mantener las características organolépticas desde el secado hasta el atemperado y empaquetado del producto. Así mismo, se proponen los

equipos necesarios para el proceso y la capacidad de estos, en base a la producción de grano de la zona. Además se propone el Layout de la planta artesanal, Por último, se hace un análisis de los costos del proyecto en donde se determina el punto de equilibrio y el tiempo de recuperación de la inversión realizada.

2. Desarrollo de la Pasta de Cacao Artesanal.

2.1. Materiales y Métodos.

2.1.1 Análisis Físico Químico: Incluyen la determinación del peso de 100 habas, determinación de humedad y porcentaje de impurezas.

2.1.2. Análisis Sensorial: Como es conocido, las temperaturas de tueste del grano influyen de gran manera en el sabor y aroma final del producto, es por esto muy importante determinar a qué temperatura se debe tostar el grano para que tenga el mejor sabor y aroma posible.

Para esto, se tostó el grano a 6 temperaturas diferentes con una diferencia de 5 grados centígrados. La temperatura más baja de tueste fue de 130 °C y la más alta de 155 °C.

Se escogió este rango de temperaturas debido a que se emplean con mayor frecuencia en el tueste del grano de cacao. Se utilizó alrededor de 800 gramos de cacao para cada temperatura. Una vez tostado el grano, se procedió a descascarar y a moler. El descascarado se lo realizó en forma manual con la ayuda de un ventilador y tamices. Para la molienda se utilizó una licuadora casera para refinar la pasta hasta llegar a un estado líquido. La temperatura en la molienda se incrementó hasta 65 °C, debido a la fricción, lo que a su vez favoreció para que se funda la pasta. El tiempo de molienda fue de 50 minutos para las seis muestras, con el objetivo de obtener muestras homogéneas en finura.

Una vez obtenidas las muestras, se realizó una prueba organoléptica de ordenamiento con 15 panelistas entrenados en degustación de pasta de cacao. Luego se analizan los resultados obtenidos por medio del análisis de varianza y la prueba de Tukey.

2.2 Diseño de Experimento

2.2.1. Curva de Secado: Por medio de esta curva podremos establecer el tiempo de tostado del cacao dependiendo de la humedad inicial del mismo. Para la realización de esta curva se utilizó una estufa calibrada a 150 °C, provista de un ventilador que proporciona una velocidad de aire de 5 m/s.

Se tomó una muestra de 810 g de cacao nacional ASS (Arriba Superior Selecto), libre de impurezas, con una humedad inicial de 11,28 %, luego se lo colocó en una bandeja metálica (ver Figura 1) y se lo llevó a una estufa previamente acondicionada a una temperatura establecida, dando inicio al proceso de tueste, se verificó cada 10 minutos el peso del cacao.



Figura 1. Preparación de la muestra antes del tueste

2.2.2. Rendimientos del Cacao en el Descascarado:

Se procedió a descascarar una muestra del grano tostado no sin antes obteniendo el respectivo peso, por motivos de comodidad se escogieron 300 g de muestra y se los dividió en partes iguales de 100 g cada una. Una vez separada la cáscara o testa del cotiledón se pesaron las tres muestras de cotiledones y se obtuvieron los siguientes resultados:

Muestra 1: Peso del cotiledón sin testa: 87,6 g
Muestra 2: Peso del cotiledón sin testa: 88,1 g
Muestra 3: Peso del cotiledón sin testa: 88, 2 g

El promedio de los pesos da un total de 88 g lo que quiere decir que tenemos un 88 % de rendimiento en el descascarado.

2.2.3. Definición de Temperatura y Grado de Finura de la Pasta en la Molienda:

La pasta de cacao sufre un aumento de temperatura en la molienda que ocurre debido a la fricción. Para esto se midió la temperatura con un termómetro de mercurio al final del proceso de molienda y se obtuvo una temperatura de 65°C.

En el caso de la finura se puede decir, que la pasta será más fina mientras más tiempo se dé a la molienda, pero lógicamente el uso de una licuadora casera que se utilizó en la prueba de laboratorio, no va a proporcionar una pasta muy fina. Las pastas de cacao comercializadas industrialmente tienen finuras entre 99 - 99,5 %.

2.3 Resultados de las Pruebas Experimentales

2.3.1. Análisis Físico Químico: Los resultados de los análisis físico-químicos realizados al grano de cacao utilizado en este estudio se presentan en la Tabla 1

Tabla 1. Resultado de los análisis físicos químicos

Prueba	Resultado	Método Aplicado
Peso 100 habas (g)	121	NTE INEN 173:1987
% Humedad	11.28	NTE INEN 173:1987
% Impurezas	2%	NTE INEN 175:1987
% Violáceos	20%	NTE INEN 175:1987
% Pizarroso	3%	NTE INEN 175:1987
% Mohos	1%	NTE INEN 175:1987
% Fermentación	76%	NTE INEN 175:1987

2.3.2. Análisis Sensorial: Los datos obtenidos de la prueba organoléptica son convertidos a marcas, para ello se utiliza la tabla estadística de valores numéricos para transformación de datos ordenados de Fisher y Yates [1]. A los datos transformados se les aplica el análisis de varianza y se obtienen los resultados presentados en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza

Fuente de Varianza	GL	SC	CM	Valor F
Muestras	5	26,35	5,27	10,39
Jueces	14	0	0	0
Error	70	35,51	0,51	
Total	89	61,87		

Los valores críticos de F se obtienen de la respectiva tabla de distribución a un nivel de significancia del 5 y del 1 %.

Valor crítico de $F_{(5\%)}$: 2,23

Valor crítico de $F_{(1\%)}$: 3,09

Como puede observarse la diferencia entre los tratamientos es muy significativa ya que aún al 1% la F calculada resulta mayor que la crítica. Esto quiere decir que se debe procesar el cacao es a 150 °C debido a que fue la que obtuvo mejor calificación en la prueba sensorial.

2.3.3. Tostado: Con los datos de pérdida de peso, obtenidos en el tostado, podemos realizar una curva de porcentaje de humedad del cacao vs tiempo de tueste. Los datos para la realización de dicha curva se muestran en la Tabla 3

Tabla 3. Valores obtenidos en el tostado

Tiempo (min)	Peso (g)	Humedad del solido %
0	810	11,28
10	791,5	9,20
20	773	7,03
30	755	4,81
40	749	4,05
50	745	3,54
60	740	2,89
70	737,8	2,60
80	736	2,36
90	735	2,22
100	810	11,28

Con estos datos procedemos a graficar la curva que se muestra en la Figura 2.

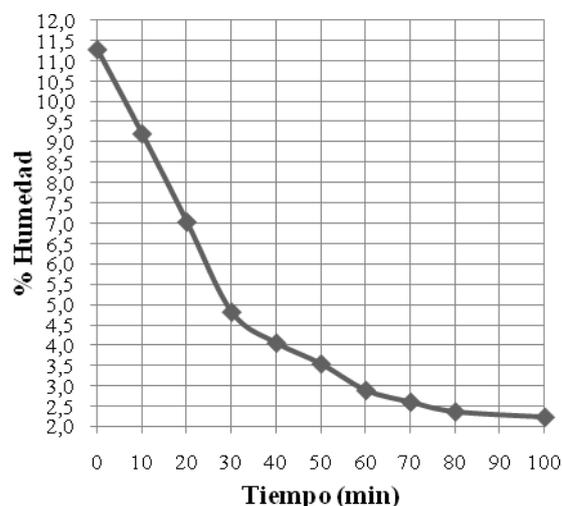


Figura 2. Variación de humedad en el cacao tostado a 150 °C

Con esta gráfica podremos determinar el tiempo de tostado del grano de cacao dependiendo de la humedad inicial que tenga la materia prima.

3. Diseño de una Línea de Proceso de Pasta de Cacao.

3.1. Características de las Materias Primas

Con el objetivo de obtener una pasta cacao de la mejor calidad, se procesará cacao de la variedad arriba o nacional. Esto se debe a su excelente

propiedad organoléptica, además de ser el más cosechado y mejor pagado del país. El cacao deberá tener una humedad no mayor al 8% para evitar el crecimiento de mohos durante el almacenamiento, ya que cantidades de mohos en el grano tan pequeñas como del 3% pueden comunicar un sabor mohoso desagradable en la pasta [2].

Así mismo, la fermentación del grano es otro factor de suma importancia para obtener una pasta de buena calidad, un grado ideal de fermentación se determina con la prueba del corte, por lo general está entre el 70 al 80 % de habas completamente fermentadas y 20 al 30 % parcialmente pardas y parcialmente púrpura. Deben estar ausente la presencia de habas grises (pizarras) su presencia indica la falta de volteo suficiente en la fermentación y cualquier cantidad mayor del 5% se reflejará en la astringencia (acidez) del sabor de la pasta.

3.2. Descripción del Proceso

3.2.1. Secado: Una vez terminada la fermentación del grano, las habas de cacao blandas y con un alto contenido de humedad, deberán secarse. El secado del grano de cacao puede llevarse a cabo de forma artificial o solar, en este caso por ser un proceso artesanal se optará por el último. Generalmente, el tiempo de secado solar puede durar semanas, todo depende de las condiciones climáticas. Cualquiera que fuera el método de secado aplicado deberá llegarse a una humedad final del 7%, esto impedirá el crecimiento de microorganismos, en especial mohos, durante el almacenamiento. El secado solar se puede realizar en tendales o en camillas montadas sobre ruedas que pueden ser cubiertas bajo techo cuando llueve, además se pueden superponer varias de estas camillas bajo un mismo techo para ahorrar espacio.

3.2.2. Limpieza: La mayoría de las habas de cacao llegan con materias extrañas como: arena, madera, piedra, vidrios, otros granos, etc. Para mantener la calidad del producto, es necesario eliminar estas impurezas por completo. Para este proceso de limpieza se utiliza un pequeño equipo con zarandas y tamices de diferentes tamaños, provisto de un motor para agitar las zarandas, con este equipo el cacao sale limpio por un lado y las impurezas por otro lado. Pero además, cabe recalcar, que la cantidad de materiales extraños con que viene el cacao depende en gran medida de cómo se realice el secado, por lo general los cacaos secados en tendales son los que presentan mayor cantidad de desperdicios que los secados en camillas. La planta artesanal en un principio, no contará con una limpiadora debido a que el cacao que se va a procesar proviene de haciendas propias de los habitantes del sector, y por lo tanto no presentará impurezas.

3.2.3. Tostado: Una de las etapas más importantes del proceso es el tostado, ya que facilita la remoción de la cascarilla así como, la eliminación de compuestos aromáticos indeseables.

El tostado se puede realizar de varias formas: con aire caliente, con vapor saturado, o con radiación infrarroja. En la planta de Milagro, se procederá a tostar el grano con aire caliente debido a que resulta ser la opción más económica y conveniente para un proceso artesanal. La temperatura y tiempos de tueste, dependerán de la humedad con la que ingrese el grano al tostador, esto se puede estimar por medio de la Figura 2 que indica el tiempo que se debe tostar vs la humedad inicial del cacao a una temperatura determinada.

3.2.4. Descascarado: Una vez que el cacao ha sido tostado, se deberá descascarar inmediatamente mientras esté caliente para facilitar la remoción de las cubiertas. Para esta etapa se utiliza un equipo rompedor de grano que por lo general está provisto de una turbina central que por fuerza centrífuga tira los granos contra placas metálicas (martillos) fijadas en la pared del cilindro donde se rompen. El cacao quebrado junto con su cáscara cae sobre una zaranda inclinada con vibración con tamices de diferente abertura (0.04 mm, 0.06 mm, 0.08mm, y 0.1 mm) y por medio de un flujo de aire es separada la cascarilla del cacao troceado (nib de cacao). El nib libre de cascarilla pasa a la siguiente etapa, la molienda.

3.2.5. Primera Molienda: En esta etapa del proceso el nib se muele para transformarlo en pasta de cacao. Por lo general, se utilizan molinos de pistones (pines) que muelen los granos hasta alcanzar una finura aproximada del 90%. Durante este proceso se libera la manteca de cacao y se funde como resultado de la elevación de la temperatura por la fricción, el producto resultante que es todavía grosero y se deberá reducir en una molienda posterior.

3.2.6. Segunda Molienda: La función de la segunda molienda es el aumento de la finura de la pasta hasta el 99 % aproximadamente. Para este proceso son muy comunes los molinos de bolas. Estos molinos tienen un cuerpo de trituración que gira y está relleno con bolas o cilindros trituradores. La temperatura que alcanza la pasta en esta etapa está entre 65 y 70 °C.

3.2.7. Enfriamiento: Una vez obtenida la finura deseada en la pasta de cacao, esta se almacena en un tanque de acero galvanizado para su enfriamiento. Una vez que la temperatura de la pasta se encuentre entre 45 y 41 °C, se procede a la siguiente etapa.

3.2.8. Atemperado: El atemperado del licor es muy importante, debido a que si este no se realiza o es mal ejecutado, trae consigo crecimiento indeseable de cristales y malas características de solidificación [2]. El atemperado tiene 4 etapas: En la primera, la pasta debe estar completamente libre de cristales, esto es a más de 41 °C. En la segunda etapa, se enfría suavemente la pasta bajando de 5 a 7 grados de temperatura (por lo general hasta 33 °C) para iniciar las primeras etapas de formación de cristales. La tercera etapa, tiene lugar a un superenfriamiento gradual de 5 grados (hasta 28 °C), para inducir a la formación homogénea de cristales. El tiempo de retención mínimo en esta etapa 10 a 12 minutos. Por último, en la cuarta etapa, se incrementa un poco la temperatura alrededor de 4 grados para que se formen los cristales maduros ya en esta etapa, la pasta tiene una estructura fina con pequeños cristales y solidificará rápidamente en el envasado. [2] Una vez atemperada la pasta se procede al empaque.

3.2.9 Empaque: Por lo general, el empaque se realiza en fundas de polietileno de alta densidad dispuestas en cajas de cartón corrugado. En esta etapa se deberá realizar un control de peso y material de empaque según de los requerimientos del cliente.

3.3 Capacidad de Producción de los Equipos
Según el Codepmoc, las plantaciones de cacao variedad nacional que forman parte del sector donde se encontrará la planta procesadora de pasta de cacao abarca una superficie de 1700 Hectáreas con un rendimiento de 0,5 TM por año. Esto significa, que anualmente se obtendría 850 TM de cacao, lo que implica una producción mensual de 71 TM aproximadamente. En un principio la planta operará 5 días a la semana - 8 horas al día, lo que implica una producción de 444 kg/h de grano de cacao. En base a estas cifras se procederá a diseñar la línea de proceso de pasta de cacao así como la capacidad de los equipos en cada etapa.

Una vez definida la capacidad de producción, se procede a determinar los equipos necesarios para la línea de producción. Los equipos que se utilizarán en las diferentes etapas de producción se muestran en la Tabla 4

3.4 Layout de la Planta

El Layout propuesto, de la planta artesanal procesadora de pasta de cacao, cumple con las condiciones mínimas básicas que exige el Reglamento de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos Procesados. Este se muestra en la Figura 3

Tabla 4. Equipos básicos para la línea de producción

Etapa	Equipo	Capacidad
Tostado	Tostador	450 Kg/h
Descascarado	Descascarilladora	450 Kg/h
	Turbina de succión	
Primera Molienda	Molino de Pines	390 Kg/h
Segunda Molienda	Molino de Bolas	390 Kg/h
Atemperado	Atemperadora	390 Kg/h
Empaque	Balanza	30 Kg

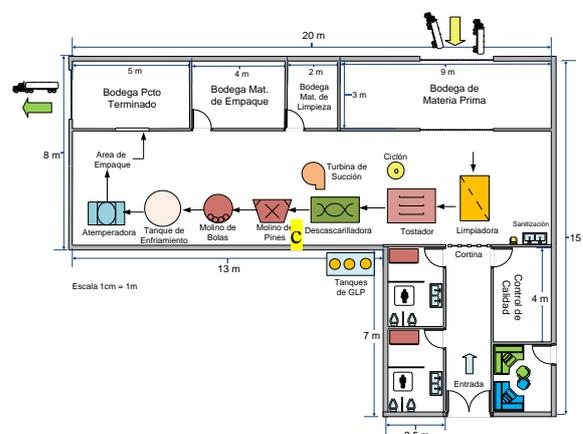


Figura 3. Layout de la planta

4. Análisis de Costo

4.1 Costo de Producción

La planta procesadora de pasta de cacao, está diseñada en un principio para trabajar un solo turno, por lo que queda abierta la posibilidad de trabajar por dos e incluso tres turnos diarios según las necesidades. El costo de producción está conformado por todos aquellos que intervienen directamente e indirectamente en el proceso. A continuación se muestran cada uno de ellos:

4.1.1 Costos Directos de Fabricación: En esta categoría se incluyen todos aquellos costos que influyen de forma directa en el proceso de fabricación como son la materia prima y la mano de obra directa.

Para definir el costo de anual de la materia prima, se toma como base de cálculo la cantidad total de producto que se espera procesar y que se definió en el capítulo 3. Se considera igualmente un año laboral de 260 días. En base a esto se procede a calcular el costo anual de la materia prima el cual se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Costo anual de materia prima

Materia Prima	Consumo Anual TM	Costo \$US/TM	Costo Total Anual \$US
Cacao	850	1,719.9	1,461,915
Cartones	10.74	251.4	2,700
Fundas PEAD	1	540	540
TOTAL			1,465,155

La cantidad de cartones y fundas se basan en la presentación final del producto terminado. Como es un producto semielaborado de cacao se venderá al por mayor en cajas de 30 Kg. Es por esto, que al final de un año laboral se necesitarán alrededor de 10.74 TM de cartón y 1 TM de fundas de polietileno de alta densidad.

La Mano de obra directa se considera aquella involucrada directamente en el proceso productivo, Como es una planta pequeña se asume que trabajaran 3 obreros, además como es un proceso semiautomático no se requiere más personal.

4.1.2 Costos Indirectos de Fabricación: Los costos indirectos de fabricación como lo indica su nombre son todos aquellos costos que no se relacionan directamente con la manufactura, pero forman parte del costo final de producción, esto es: mano de obra indirecta, energía eléctrica, agua, combustible, etc. El resumen de estos costos se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Costos indirectos de fabricación

Mano de obra indirecta	9,600
Energía Eléctrica	3,494.4
Agua	1,300
Combustible	288,000
Gastos Administrativos	55,200
Gastos por Ventas	28,944
Depreciación de equipos	4,573
Otros	3,600
TOTAL US \$	394,711

4.1.3 Determinación del costo de producción: El total de los costos de producción anual es la suma de los costos directos e indirectos de fabricación, lo que da un total

de \$ 1,867,020.2

Además se espera obtener 3.1 TM de pasta de cacao diario, lo que anualmente representaría 806 TM. Con lo cuál se producirían 26,866 cajas de 30 kg cada una. Si dividimos el total de costos para el número de cajas producidas se obtiene el costo de producción por unidad de \$ 69.49

4.2 Punto de Equilibrio

Una vez definidos los costos es necesario definir los ingresos por ventas que tendrá la planta. Debido a que el costo de producir una unidad de 30 Kg de pasta de cacao es de \$ 69.49, se asume un precio de venta con un incremento del 18 % al costo del producto, esto es: \$ 12.5 Esto significa que el producto final tendrá un precio de \$ 82. Multiplicando el costo unitario del producto por el número de unidades anuales producidas tenemos un ingreso de \$ 2,203,067. Una vez obtenidos los ingresos y costos totales se procede a determinar el punto de equilibrio no sin antes establecer primero una clasificación de estos. La clasificación de los ingresos y costos se encuentran mostrados en la tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de los ingresos y costos de producción

	Anual	Mensual
Ingresos US \$	2,203,067	183,589
Costos Fijos US\$	394,665	32,889
Costos Variables US\$	1,472,355	122,696

Para calcular el punto de equilibrio en unidades se utiliza la siguiente expresión [6]:

$$PE = \frac{C_f}{(P.V.P. - C_v)}$$

Donde:

PE: Punto de equilibrio en unidades de producción

C_f: Total de Costos fijos del periodo

P.V.P: Precio de venta al público de cada unidad

C_v: Costo variable por unidad.

Para obtener el punto de equilibrio anual necesitamos conocer el costo variable por unidad del producto, para esto dividimos el costo variable \$ 1,472,355 para el número de unidades producidas al año que son 26,866, entonces el C_v es \$ 54.80. Luego se aplica la ecuación 4.2 y se obtiene:

$$PE = \frac{394,665}{(82 - 54.8)}$$

$$PE = 14511 u$$

Esto quiere decir que se necesitan vender al mes 14511 cajas de 30 Kg de pasta de cacao para no perder ni obtener ganancia.

4.3 Recuperación de la Inversión

Antes de estimar el tiempo de recuperación de la inversión es necesario tabular el monto de la inversión realizada, esto incluye la construcción de la planta y la compra de los equipos. El detalle de estos costos se encuentran mostrados en la tabla 8

Tabla 8. Monto total de inversión

Detalle	Inversión US \$
Adquisición de Equipos	83,899.3
Construcción de la planta	23,765.95
Total	107,665.3

Una vez conocido el monto total de la inversión realizada, se procede a estimar el tiempo de recuperación de la inversión por medio un flujo de caja de efectivo.

El flujo de caja realizado mostró que al final del segundo año de trabajo se tiene un ingreso neto de \$154,538 lo que significa que el monto total de inversión se recupera en este año.

5. Conclusiones.

Los factores más relevantes que se debe tener en cuenta para el procesamiento de cacao son la temperatura y el tiempo de tueste, debido a que las altas temperaturas de tueste del cacao (no mayores a 155 °C) y largos tiempos de tueste, influyen de manera significativa en el sabor y aroma del producto final ya que contribuyen a mejorar las propiedades organolépticas de la pasta.

Es importante controlar que la humedad del cacao sea igual o menor al 7 % en el almacenamiento, para evitar su deterioro por crecimiento de mohos.

La finura de la pasta, es otro de los parámetros importantes a controlar ya que, mientras más fina sea esta, será más demandada por los consumidores del producto.

El valor mínimo de precio de venta al público de la caja de pasta de cacao de 30 Kg, será de \$ 82 para que el proyecto sea rentable.

6. Bibliografía.

- [1] ANZALDÚA A, La Evaluación Sensorial de los Alimentos, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España, 1994, Págs. 70 – 75.
- [2] BECKETT S. T., Fabricación y utilización industrial del chocolate, Editorial Acribia. 1994, Págs. 22 – 29.
- [3] POLIMENI S. RALPH, Contabilidad de Costos. Tercera edición, Editorial Mc Graw Hill, Págs. 222 – 225.
- [4] INIAP Memoria del taller: Calidad física y organoléptica del cacao (teoría y práctica). Quevedo 2006.

