

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE COLORANTE  
EN POLVO A PARTIR DE LA SEMILLA DE AGUACATE**

**ANDREA CAROLINA FLOREZ GALVIS  
MARIA ANTONIA YEPES OCHOA**

**UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROCESOS  
MEDELLIN  
2007**

**DISEÑO CONCEPTUAL DE UN PROCESO DE PRODUCCIÓN DE COLORANTE  
EN POLVO A PARTIR DE LA SEMILLA DE AGUACATE**

**ANDREA CAROLINA FLOREZ GALVIS  
MARIA ANTONIA YEPES OCHOA**

Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero de Procesos

Asesor  
MARCELA MORA VARGAS  
Ingeniero Químico. MSc

**UNIVERSIDAD EAFIT  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA DE PROCESOS  
MEDELLIN  
2007**

Nota de aceptación

---

---

---

---

Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Medellín, Octubre 11 de 2007

*A nuestros padres*

*Por apoyarnos siempre*

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus más sinceros agradecimientos:

A todo el personal de los laboratorios de Ingeniería de Procesos, que de una u otra forma estuvieron vinculados a la ejecución de este proyecto y en su formación como ingenieros.

A nuestros padres por el crecimiento integral como personas.

A nuestros amigos que nos han apoyado siempre.

A Marcela Mora V. por la orientación recibida durante la elaboración de este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b>	12
<b>OBJETIVOS</b>	14
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	16
1.1 EL AGUACATE	16
1.2 ASPECTOS COMERCIALES	17
1.3 COLORANTES NATURALES	18
1.4 EL DISEÑO DE PROCESOS	18
<b>2. ESTUDIO DE MERCADO</b>	21
2.1 ENCUESTA DE MERCADO	21
2.2 RESULTADOS ENCUESTA DE MERCADO	21
2.2.1 ENCUESTA TEXTILES Y OTROS	22
2.2.2 ENCUESTA ALIMENTOS	23
<b>3. PROCESO A ESCALA LABORATORIO</b>	27
3.1 DIAGRAMA GLOBAL	27
3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES	28
3.3 MONTAJE	28
3.3.1 LAVADO	30
3.3.2 MOLIENDA	30
3.3.3 EXTRACCIÓN	30
3.3.4 FILTRACIÓN	32
3.3.5 SECADO	33
3.4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS	33
3.4.1 PROPIEDADES Y PARÁMETROS A MEDIR	33
3.4.3 RESULTADOS MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN LABORATORIO	35
3.5 DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CINÉTICA DE EXTRACCIÓN	36
3.6 BALANCES DE MATERIA	37
<b>4. PROCESO A ESCALA INDUSTRIAL</b>	41
4.1 DIAGRAMA DE FLUJO	41
4.1.1 TABLA DE CORRIENTES	41
4.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	44

4.2 SELECCIÓN EQUIPOS Y OPERACIONES UNITARIAS	46
4.2.1 ALMACENAMIENTO	46
4.2.2 LAVADO TK-103	47
4.2.3 MOLIENDA MC-101	48
4.2.4 EXTRACCION SÓLIDO-LIQUIDO EX-101	49
4.2.5 FILTRADO F-101	49
4.2.6 SECADO D-101	50
4.2.7 BOMBEO	51
4.3. ESCALADO DEL PROCESO	51
4.3.2 BALANCES DE MATERIA	52
4.4 RECETA DE UN LOTE	53
4.5 DIAGRAMA GANTT	54
<b>5. ESTIMACIÓN DE COSTOS</b>	<b>56</b>
5.1 COSTOS DE CAPITAL	56
5.2 COSTOS DE OPERACIÓN	58
5.2.1 COSTOS DE MATERIAS PRIMAS	58
5.2.2 COSTOS DE MANO DE OBRA	59
5.2.3 OTROS COSTOS	59
5.3 CÁLCULO DEL VPN	60
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>62</b>
<b>7. RECOMENDACIONES</b>	<b>65</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>66</b>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades medidas en la corriente de líquidos	35
Tabla 2. Propiedades medidas en la corriente de sólidos	35
Tabla 3. Composición Semilla de Aguacate	36
Tabla 4. Valores iniciales en el ensayo a escala laboratorio	37
Tabla 5. Balance de Materia. Escala Laboratorio	40
Tabla 6. Tabla de corrientes correspondiente al PDF del proceso	42
Tabla 7. Valores obtenidos de los balances de materia a escala industrial.	52
Tabla 8. Receta para la producción de un lote de colorante en polvo.	53
Tabla 9. Costos de Capital	56
Tabla 10. Cálculo de VPN. Escenario I	60
Tabla 11. Cálculo de VPN. Escenario II	61

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Razón por la cual utiliza colorantes artificiales (textiles)	22
Figura 2. Cantidad de dinero a pagar por un colorantes natural (textiles)	23
Figura 3. Presentación del colorante. (textiles)	23
Figura 4. Razón por la cual utiliza colorantes artificiales (alimentos)	24
Figura 5. Cantidad de dinero a pagar por un colorantes natural (alimentos)	25
Figura 6. Presentación del colorante.	25
Figura 7. Diagrama Global de entradas y salidas. Proceso de producción de colorante a partir de la semilla de Aguacate	27
Figura 8. Diagrama de Bloques (BDF). Proceso de producción a escala laboratorio de colorante.	29
Figura 9. Semillas molidas. Proceso escala laboratorio	30
Figura 10. Montaje propuesto para el proceso de extracción	31
Figura 11. Extractor propuesto a escala laboratorio	32
Figura 12. Solución coloreada después de la extracción	32
Figura 13. Absorbancia vs. Tiempo. Extracción con Rotocell® propuesto	37
Figura 14. Volumen de control. Etapa de Lavado	38
Figura 15. Volumen de control. Etapa de Extracción	39
Figura 16. Volumen de control. Etapa de Secado	40
Figura 17. Diagrama de Flujo, proceso de extracción de colorante a partir de la Semilla de Aguacate. Escala Industrial	43
Figura 18. Diagrama de Gantt del proceso de producción	55

## **LISTA DE ANEXOS**

Anexo 1. ENCUESTA ESTUDIO DE MERCADO	69
Anexo 2. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS	70
Anexo 3. BALANCE DE MATERIA A ESCALA INDUSTRIAL	84

## RESUMEN

El desarrollo de procesos para obtener colorantes orgánicos se ha vuelto un tema de investigación frecuente, con el fin de minimizar el riesgo de contaminación e impurezas.

Este proyecto se basa en el análisis de alternativas de operaciones unitarias, equipos y metodologías de escalado para diseñar conceptualmente un proceso industrial que produzca colorante a partir de la semilla del aguacate.

El proceso de producción cuenta con cinco etapas en las cuales la principal variable a controlar es la temperatura en las etapas de extracción y secado ya que de esto depende la calidad del colorante que se obtiene. De acuerdo a estos parámetros se definen los equipos a utilizar y los instrumentos de control.

Como resultado se optimizó el proceso de extracción de colorante a partir de la semilla del aguacate (Saldarriaga, 2002), se diseñó un equipo para la etapa de extracción y se encontró que en la etapa de secado es más adecuado la utilización de un secador tipo *spray-dryer* que un secado al horno y posterior pulverización, ya que las propiedades del colorante, especialmente el tono obtenido, se mantienen al no presentarse una elevación considerable en la temperatura.

Los estudios económicos arrojan un valor inicial de costos de capital donde se tienen en cuenta terreno e instalaciones y un valor de costos operativos que tiene como periodo base un año. De acuerdo al cálculo del VPN el proyecto es económicamente viable, sin embargo el presente estudio alimenta un análisis posterior de la unificación de dos plantas para colorantes naturales donde puede ser reevaluada esta viabilidad.

## INTRODUCCIÓN

El diseño de procesos es un valor agregado que obtienen los productos de muchas industrias, tales como: alimentos, bebidas, textiles, papeles, polímeros, cosméticos, entre otros. Uno de los factores que más protagonismo toma en este papel es el color y se juega con este para buscar propiedades distintas. Los colores naturales son muy sensibles a variables como temperatura, humedad, presión; lo que dificulta el manejo del producto, ubicando a los colorantes dentro de las materias primas para su elaboración.

El desarrollo de procesos para obtener colorantes orgánicos ha llegado a ser un tema de investigación frecuente en el campo académico e industrial, con el fin de minimizar el riesgo de contaminación e impurezas. Actualmente existen muchos procesos de extracción realizados en plantas piloto, pero surge la necesidad de avanzar un paso en el diseño, es decir, realizar un diseño conceptual que permita producir los colorantes en grandes cantidades.

En el desarrollo de este proyecto de grado se propone un diseño para una planta de producción de colorante con una capacidad de procesamiento anual de aproximadamente 78000 Kg. de semillas de aguacates y una producción de 4680 kg de colorante. El diseño a nivel industrial se propone a partir de estudios realizados en tesis anteriores acerca de la extracción de este tipo de colorante, se presentan algunas modificaciones que mejoran el proceso de extracción y se lleva el proceso realizado en el laboratorio a escala industrial para cual se presentan las características mas relevantes a la hora de seleccionar los equipos necesarios para llevar a cabo el proceso

Finalmente se realiza el cálculo del VPN para así tener un estimativo financiero acerca de la viabilidad económica de este proyecto, se presentan dos escenarios en los cuales se muestran ganancias a partir del 2do año de ventas debido a que en el primer año se espera realizar el desembolso de los costos de capital.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Diseñar conceptualmente un proceso a escala industrial para la producción de colorante en polvo a partir de la semilla del aguacate.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir la capacidad de procesamiento con base en la disponibilidad de la materia prima y el mercado potencial del colorante, inicialmente en la industria alimenticia, textil y de cosméticos
- Escalar el proceso de extracción del colorante de la semilla del aguacate haciendo uso de las metodologías de escalado de procesos, tomando como referencia proyectos de grado anteriores y midiendo experimentalmente las variables fisicoquímicas faltantes.
- Analizar a nivel conceptual las alternativas tecnológicas de las operaciones unitarias para seleccionar las más convenientes en el proceso y diseñar o cotizar los equipos, sus condiciones de operación y sus especificaciones técnicas.
- Soportar el diseño del proceso a partir de la elaboración de los documentos de ingeniería: balances de masa y energía, diagrama general de entradas y salidas, diagrama de bloques del proceso (BFD), diagrama genérico de bloques, diagrama de Gantt y diagrama de flujo del proceso (PFD).

- Estimar los costos de capital y operación involucrados en el proceso y el Valor Presente Neto (VPN) del mismo.

## **1. MARCO TEÓRICO**

En este capítulo se presenta una breve introducción acerca del aguacate y sus principales usos en la industria cosmética además se muestran los principales usos actuales de los colorantes naturales y las características principales que debe incluir un diseño de procesos, lo que nos guiará en la realización de este proyecto.

### **1.1 EI AGUACATE**

*(Persea gratissima Goerin - Persea Americana Mill)*

El aguacate es una deliciosa fruta, de la familia de las Lauranceas, un árbol nativo del hemisferio norte de México (El sabroso aguacate. 2006).

Es cultivado en América y en partes pequeñas de España, por su facilidad de adaptación climática, puede cultivarse desde el nivel del mar hasta los 2.500 m. de altura; sin embargo, su cultivo se recomienda en altitudes entre 800 y 2.500 m., para evitar problemas con enfermedades vegetales, principalmente de las raíces. La temperatura y la precipitación son los dos factores de mayor incidencia en el desarrollo del cultivo.

En cuanto a suelos, los más recomendados son los de textura ligera, profundos, bien drenados con un pH neutro o ligeramente ácidos (5,5 a 7), pero puede cultivarse en suelos arcillosos o franco arcillosos siempre que exista un buen drenaje, pues el exceso de humedad propicia un medio adecuado para el desarrollo de enfermedades de la raíz, fisiológicas como la asfixia radical y fúngicas como fitoptora (Saldarría 2002.).

Se utiliza principalmente como alimento, en muchos platos típicos de Suramérica, gracias a su alto contenido nutricional. No contiene sodio ni colesterol. Su grasa es monoinsaturada, conocida como "grasa buena". Es rico en vitaminas del grupo B y alto en ácido fólico (El sabroso aguacate).

En Colombia existen cultivos de aguacate en 15 departamentos del país y los principales productores son Bolívar (30% del área cultivada), Santander (17%) y Tolima (17%). El cultivo representa el 2% del área frutícola sembrada a nivel nacional, con una producción total de 163.000 toneladas y un rendimiento promedio de 10,5 toneladas por hectárea. La producción de aguacate es insuficiente y no cubre las demandas nacional ni internacional y Colombia aporta el 8,6% del mercado internacional del aguacate, lejos de México que es el primer exportador mundial con el 34%.

## **1.2 ASPECTOS COMERCIALES**

El fruto del árbol posee muchos usos. En el aspecto doméstico se emplea como alimento, ampliamente difundido en nuestro país y en gran parte del mundo.

Industrialmente se emplea para la fabricación de aceite de aguacate, el cual contiene una gran cantidad de aceite fijo, amarillo verdoso, excelente para el cabello, tanto para embellecerlo como para detener su caída y hacerlo crecer. Se prepara también con este aceite un magnífico jabón de tocador que mejora el cabello en firmeza y en color (Turton 2003) De la pepa se extrae un jugo (especie de tinta) que sirve para marcar ropa.

A nivel Medicinal tiene algunas aplicaciones: la corteza del tallo es útil como astringente, la cáscara del fruto sirve como vermífugo y antidisentérico, los brotes y las hojas cuando ya pasan de color pardo o rosado al verde, tienen la reputación como excitantes de la vesícula biliar, son balsámicos, carminativos, esquimáticos,

vulnerarios, emenagogos, antisifilíticos y enérgico diuréticos entre otras aplicaciones (El Sabroso Aguacate. 2006)

### **1.3 COLORANTES NATURALES**

Los colorantes son sustancias de origen natural ó artificial que se usan para aumentar el color de los alimentos. Bien porque el alimento ha perdido color en su tratamiento industrial ó bien para hacerlo más agradable a la vista y más apetecible al consumidor.

Los colorantes se dividen en dos grandes grupos: colorantes naturales y colorantes artificiales.

Los colorantes naturales son todos aquellos colorantes que se obtienen de fuentes animales o vegetales sin procesos químicos. Son considerados inocuos y por lo tanto las limitaciones en su uso son menores a aquellas impuestas a los colorantes sintéticos (Aromas y Colorantes)

### **1.4 EL DISEÑO DE PROCESOS**

El Diseño es una secuencia de actividades llevadas a cabo para generar la idea de un nuevo sistema o artefacto y definirlo completamente. Es una actividad eminentemente creativa y una habilidad natural del hombre.

El Diseño de Ingeniería es un proceso iterativo, o sea que se modifica continuamente hasta cumplir un criterio de calidad aceptable desde el punto de vista de la ética, la seguridad, el costo, la función y la estética (Escobar , J. 2001)

Desde la perspectiva de un ingeniero de procesos, las etapas que constituyen el diseño son:

1. Aparición de la idea: Se estudia el mercado, se desarrolla el producto y el proceso, y se realizan evaluaciones económicas y tecnológicas preliminares.
2. Diseño Conceptual: El producto de esta etapa es un concepto, el cual se refiere a la combinación de principios físicos, químicos y biológicos, que satisfacen la función o propósito, las características, atributos, restricciones y deseos; después de analizar y escoger la mejor de las alternativas.

El diseño Conceptual se ocupa de producir los resultados como el Diagrama General de Entradas y Salidas (*Overall Diagram*), Diagrama de Bloques de proceso (BFD), Diagrama Genérico de Bloques, la estimación de los Costos (Capital y Manufactura), la definición de una función objetivo que permita sustentar la escogencia de la mejor alternativa y la producción de una estructura funcional, asimilable al *Process Flow Diagram*, PFD, que incluye el *Flowsheet*, o secuencia de las operaciones (Incluye los lazos básicos de Control), la tabla Resumen de los Equipos (Código de los equipos, Variables dependientes del Diseño) , la Tabla de Corrientes (Exige el balance de masa y energía) y la Descripción del Proceso (Escobar, J. 2001)

- Diagrama General de Bloques (BFD): se elabora en un proceso, para mostrar su flujo. Tiene dos formas: La primera es un diagrama de bloques para un proceso simple (diagrama de bloques de proceso) y la segunda es un diagrama de bloques de la planta de producción (diagrama de bloques de la planta) Para el diseño conceptual se considera la primera forma (Turton, R. 2003)
- Diagrama de Bloques del proceso: Este diagrama es una sucesión de bloques que ilustran el flujo del producto a través de las diferentes unidades de equipos,

cada bloque representa una función de proceso y puede incluir varios equipos. Este diagrama es el punto de partida para elaborar el PFD y es una muy buena herramienta para entender la secuencia general del proceso de producción (Turton, R. 2003)

- Diagrama de Flujo del Proceso (PFD): Es un diagrama que representa un paso más adelante del BFD en cuanto a la cantidad de información que posee. El PFD contiene la carga de datos necesaria para el diseño de un proceso químico. Para estos diagramas no hay estándares universalmente aceptados, ya que el PFD de una compañía puede tener diferencias con el PFD de otra que produzca lo mismo (Turton, R. 2003)
- Diagrama de Gantt: El diagrama de Gantt es una representación del periodo de desarrollo de un proyecto o cualquier situación que amerite una evaluación a lo largo del tiempo. Se utiliza generalmente para establecer los intervalos de tiempo de sustentación o programación de algún Proceso, visualizando por ejemplo la situación real de la producción. (Turton, R. 2003) Este tipo de diagrama se emplea generalmente para procesos discontinuos.
- El diseño conceptual da las herramientas necesarias para elaborar el Diseño Básico y el Diseño Detallado.
- Diseño Básico: Etapa en la cual el diseño conceptual toma forma. Aparecen las dimensiones de los equipos y de la planta, así como los primeros elementos estéticos (Escobar, J. 2001)
- Diseño detallado: Incluye el diseño electromecánico y exige como punto de partida el diseño básico y la elaboración del P&ID (*Piping and Instrumentation Diagram*). El diseño de detalle, permite la construcción del artefacto técnico, un prototipo funcional (Escobar, J. 2001)

## **2. ESTUDIO DE MERCADO**

En este capítulo se presentan un breve estudio acerca de la posible incursión del colorante natural en el mercado de cosméticos, textiles y alimentos en los cuales se emplean colorantes artificiales.

### **2.1 ENCUESTA DE MERCADO**

Para dar inicio a la investigación, se debió realizar un estudio de mercado para analizar la factibilidad de la elaboración de un colorante natural a partir de la semilla de aguacate y a su vez medir la aceptación del mismo en el mercado, en un principio local (área metropolitana) para después ver la posibilidad de extenderse al mercado nacional.

La encuesta se elabora de acuerdo a las principales inquietudes que se presentaron con respecto a las posibilidades de incursión en el mercado, para la puesta en marcha del proyecto se necesitaba conocer inicialmente las principales razones por las cuales se emplean colorante artificiales aún sabiendo los daños ambientales y al organismos que estos puedan causar, se espera saber además acerca del conocimiento del colorante que se espera producir.

La encuesta se realizó a empresas textiles y alimenticias del área metropolitana en las cuales se utilizan colorantes, principalmente artificiales. (Anexo 1)

### **2.2 RESULTADOS ENCUESTA DE MERCADO**

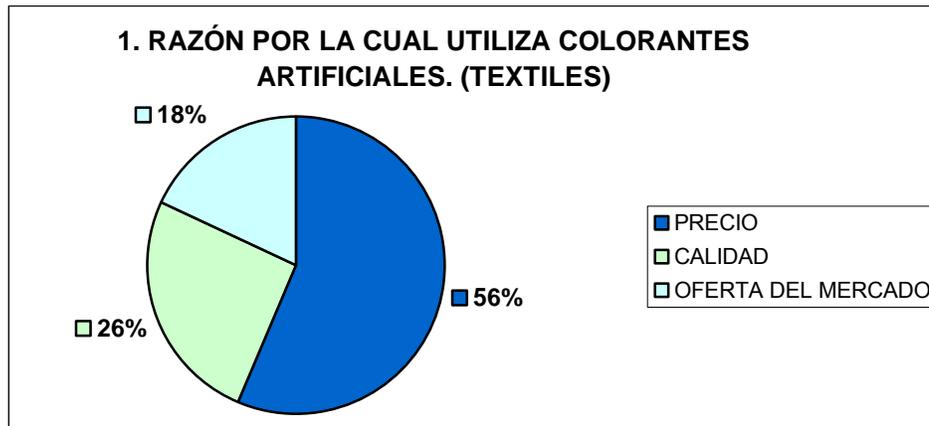
## 2.2.1 ENCUESTA TEXTILES Y OTROS

La encuesta se realizó a 39 empresas de textiles y productos químicos en donde utilizan colorantes en general. Los resultados para cada una de las preguntas fueron los siguientes:

1. Señale con una X la razón por la cual utiliza colorantes artificiales

Precio \_\_\_\_\_ Calidad del colorante \_\_\_\_\_ Oferta del mercado \_\_\_\_\_

Figura 1. Razón por la cual utiliza colorantes artificiales (textiles).



2. ¿Conoce usted el colorante a partir de la semilla de aguacate?

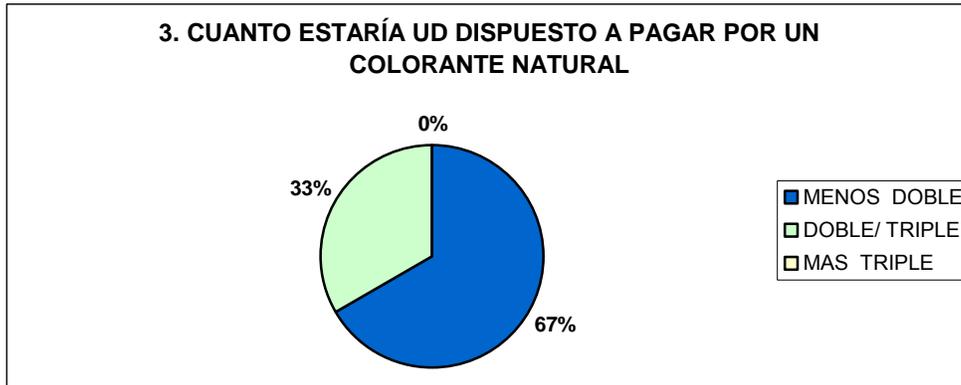
SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

El 100% de los encuestados respondió que no tenía ningún conocimiento acerca del colorante a partir de la semilla de aguacate.

3. Con respecto al colorante artificial, ¿cuánto estaría usted dispuesto a pagar?

Menos del doble \_\_\_\_\_ más del doble pero menos del triple \_\_\_\_\_ más del triple \_\_\_\_\_

Figura 2. Cantidad de dinero a pagar por un colorante natural (textiles).



4. ¿En que presentación preferiría usted el colorante?

Polvo \_\_\_\_\_ Líquido \_\_\_\_\_ Spray \_\_\_\_\_

Figura 3. Presentación del colorante. (Textiles)



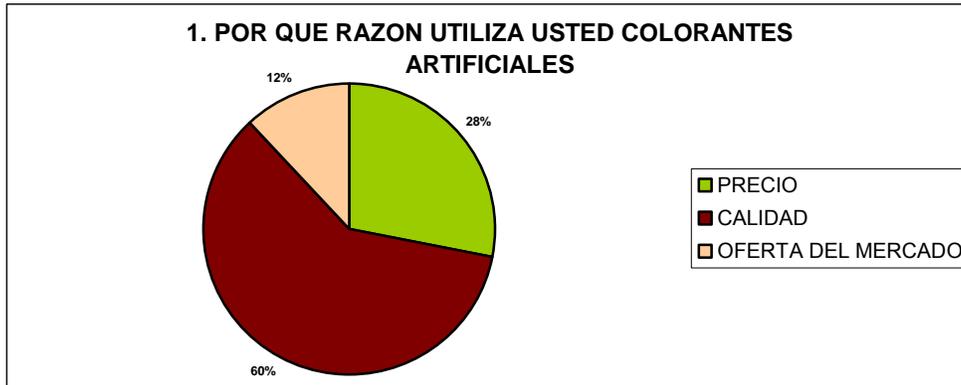
## 2.2.2 ENCUESTA ALIMENTOS

La encuesta se realizó a 25 empresas en el área alimenticia que utilizan colorantes en sus procesos de elaboración de productos

1. Señale con una X la razón por la cual utiliza colorantes artificiales

Precio \_\_\_\_\_ Calidad del colorante \_\_\_\_\_ Oferta del mercado \_\_\_\_\_

Figura 4. Por que razón utiliza usted colorantes artificiales. (Alimentos)

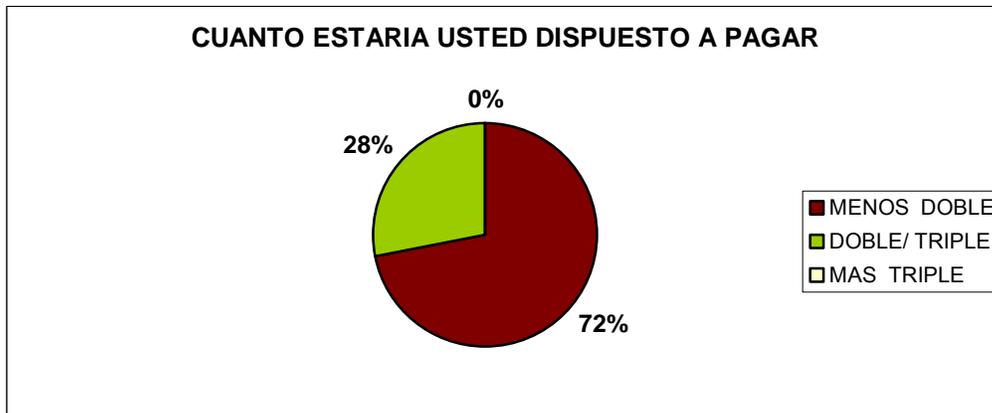


2. ¿Conoce usted el colorante a partir de la semilla de aguacate? SI \_\_\_\_\_  
NO \_\_\_\_\_

El 100% de los encuestados respondió que no tenía ningún conocimiento acerca del colorante a partir de la semilla de aguacate.

3. Con respecto al colorante artificial, ¿cuánto estaría usted dispuesto a pagar?  
Menos del doble \_\_\_\_ más del doble pero menos del triple \_\_\_\_\_ más del triple \_\_\_\_

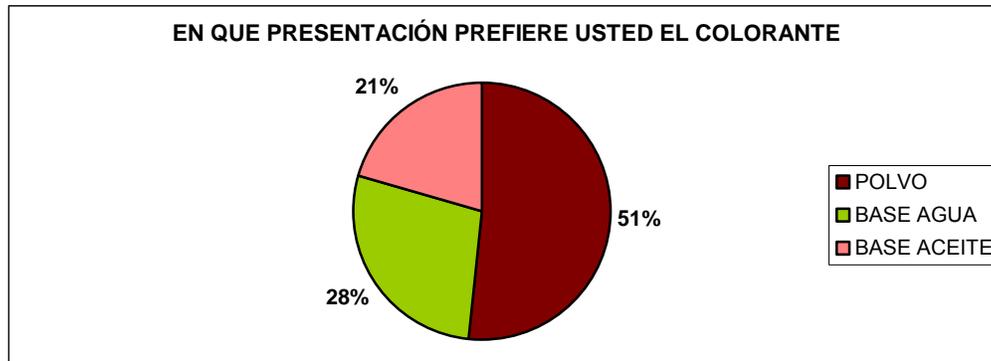
Figura 5. Cantidad de dinero a pagar por el colorante (alimentos)



4. ¿En que presentación preferiría usted el colorante?

Polvo \_\_\_\_\_ Base Aceite \_\_\_\_\_ Base Agua \_\_\_\_\_

Figura 6. Presentación del colorante.



De las figuras 1 y 2, se puede decir que el factor que más importancia tiene en el momento de la compra de los colorantes en las industrias textiles y químicas, es el precio, ya que este influye en el producto final. Sin embargo, la calidad está tomando fuerza en esta decisión. El colorante de la semilla de aguacate es un producto nuevo, esto es respaldado por las respuestas de las encuestas, debido a que ninguna empresa tenía conocimiento alguno de la existencia del producto.

Para cumplir la demanda es necesario desarrollar diferentes clases de presentaciones, en líquido y en polvo. Este criterio es sujeto a las necesidades específicas del cliente.

Las industrias alimenticias prefieren la calidad del colorante por encima del precio, ya que este requerimiento lo necesitan para superar las evaluaciones de las leyes de sanidad que existen en esta industria. El precio también interfiere mucho en los alimentos, por lo que los resultados de la figura 3 y 5 muestran que el precio a pagar es el menor posible.

Se puede ver que en la industria alimenticia el porcentaje de utilización de colorante en base líquida y en base aceite son muy cercanos; esto se debe al uso en la fabricación de productos de confitería y panadería, en los cuales no es deseable la presencia de agua. En un futuro, se deberán realizar pruebas para

verificar la estabilidad del colorante de aguacate en estos productos en las bases que se sugieren.

Se puede decir que de acuerdo a la encuesta realizada, la planta del colorante de la semilla del aguacate, es un idea con respaldo de demanda y que tendría una buena acogida en el mercado, por sus propiedades orgánicas.

Dado que la anterior encuesta de mercado se realizó a empresas del área metropolitana de la ciudad de Medellín las cuales se esperan sean los clientes potenciales de este proyecto se decide ubicar la planta de producción en la ciudad de Itagüi, principal zona industrial del área metropolitana, en la cual hay fácil acceso de camiones que suministran materia prima y buen acceso a los servicios industriales necesarios para el proceso.

### 3. PROCESO A ESCALA LABORATORIO

En este capítulo se presenta el proceso a escala laboratorio, en el cual se llevo a cabo y se mejoró el proceso de extracción de colorante sugerido en tesis anteriores (Saldarriaga, 2002). También se incluyen diagramas del proceso y balances de materia y energía.

#### 3.1 DIAGRAMA GLOBAL

El diagrama global es una representación gráfica del sistema, con un enfoque general, que contiene las corrientes de entradas y salidas al proceso, simplificando así los cálculos a realizar en cada una de las etapas.

Figura 7. Diagrama Global de entradas y salidas. Proceso de producción colorante a partir de la semilla de Aguacate



### **3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES**

Un diagrama de bloques es la representación gráfica de las funciones que lleva a cabo cada componente, donde cada función de transferencia tiene un bloque asignado y éstos se unen por flechas que representan la dirección del flujo.

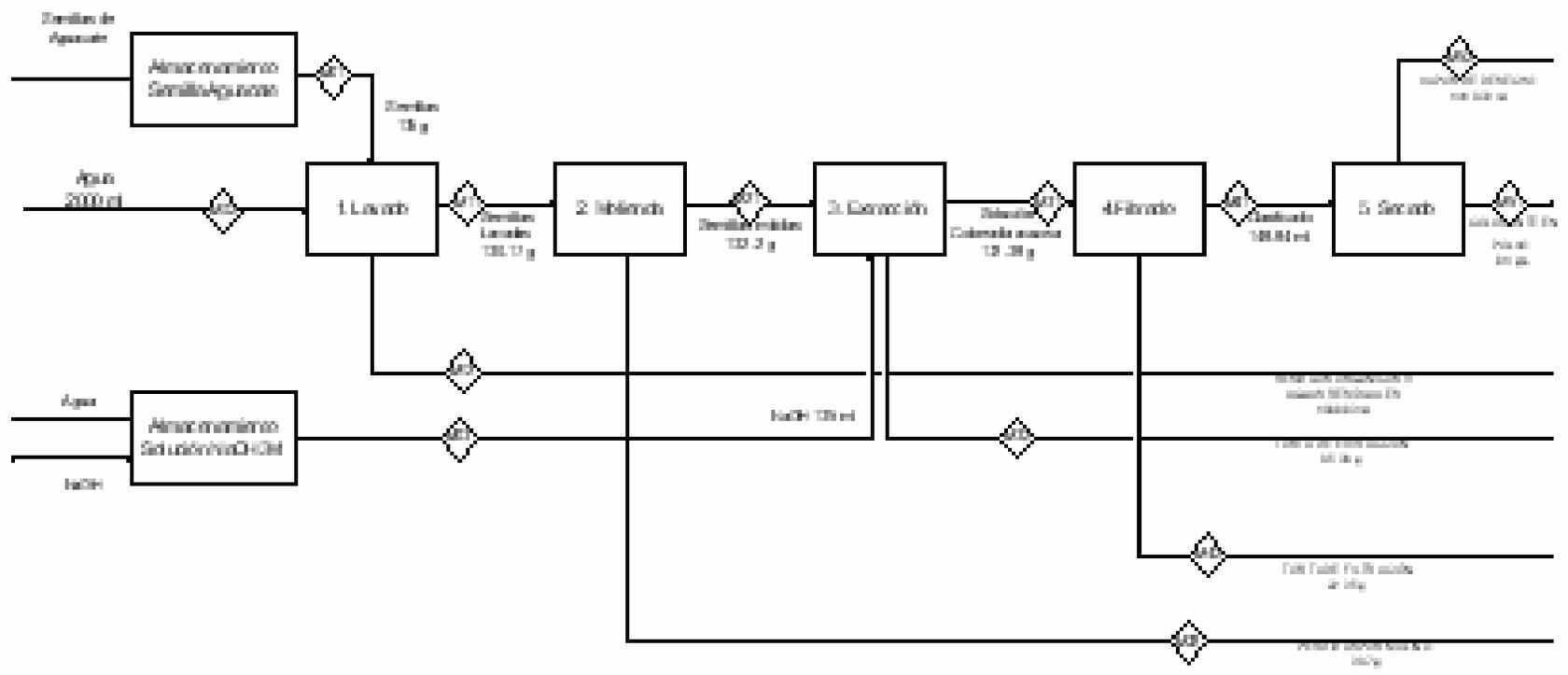
Se muestran las relaciones existentes entre los componentes y el flujo de señales de forma más realista que una representación matemática. De la misma manera, contiene información relacionada con el comportamiento dinámico y no incluye información de la construcción física del sistema.

Este diagrama contiene también información acerca de las cantidades de entrada y salida de materiales al proceso los cuales se pueden ver en los balances de materia a escala laboratorio que se realizan en la sección 3.6, mas adelante se muestran estos mismos llevados a escala industrial.

### **3.3 MONTAJE**

A continuación se describe brevemente el proceso realizado en el laboratorio y mostrado en la figura 8. Previamente se realizaron pruebas en el laboratorio en las cuales se encontró que el mejor montaje para llevar a cabo la extracción es el que se presenta a continuación, en este montaje, se propone un modelo a escala del extractor ROTOCELL ® el cual nos permite una mejor extracción del colorante y evita la degradación de las semillas ya que estas no están en contacto constante con la solución de NaOH por los resultados observados esto influyen considerablemente en la calidad del colorante.

Figura 8. Diagrama de Bloques (BDF). Proceso de producción a escala laboratorio de colorante



### **3.3.1 LAVADO**

El lavado de las semillas se hizo manualmente para retirar los restos de aguacate que estuvieran en ellas y pudieran afectar de alguna forma el proceso, este lavado se hizo con agua proveniente del acueducto de la ciudad.

### **3.3.2 MOLIENDA**

Las semillas fueron trituradas con un molino casero de cuchillas para obtener un tamaño de partícula óptimo para realizar la extracción. La Figura 9 muestra las semillas trituradas.

Figura 9. Semillas molidas. Proceso escala laboratorio



### **3.3.3 EXTRACCIÓN**

Para el proceso de extracción se propuso una nueva forma de realizarla al ver como se degradaban las semillas estando en contacto directo con la solución de

NaOH y con calor. Para esta etapa se propone un diseño en el cual la solución extractora es llevada al extractor por medio de una manguera conectada a 2 bombas peristálticas las cuales llevan el líquido hacia el mismo y permiten su recirculación, estas mangueras están introducidas en baño maría para que la solución permanezca en el rango de temperatura permitido para llevar a cabo una buena obtención de colorante.

Para el extractor se empleo un plato con malla 4, gruesa de apertura de 1 – 2 mm el cual sirvió como una primera etapa de filtración, este plato se dividió en 8 celdas en las cuales se puso igual cantidad de semillas de aguacate y llegaba igual cantidad de solución extractora, el plato se montó sobre un tazón plástico al cual caía la solución coloreada y allí se introduce la manguera de reciclo conectada a la bomba peristáltica. El montaje se muestran en las figuras 10 y 11.

Figura 10. Montaje propuesto para el proceso de extracción



Figura 11. Extractor propuesto a escala laboratorio



### 3.3.4 FILTRACIÓN

En uno primeros ensayos de laboratorio se presentaron obstrucciones tanto en las mangueras que alimentan el sacador como en los atomizadores, por lo tanto se decide realizar un proceso de filtración con una tela filtrante de la cual se separan sólidos suspendidos para que la solución pueda pasar al *spray-dryer* y las mangueras no se obstruyan, se obtiene la solución coloreada presentada en la figura 12.

Figura 12. Solución coloreada después de la filtración



### **3.3.5 SECADO**

El secado se lleva a cabo en el secador tipo *spray-dryer*, el cual permite un entre un 15 y 65% de sólidos disueltos en la solución, en esta etapa obtiene el colorante con un tamaño de partícula muy fino para su empleo como colorante en polvo en la industria de alimentos.

### **3.4 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS**

Para el diseño conceptual de equipos, es necesario determinar algunas de las principales propiedades fisicoquímicas de las corrientes, las propiedades medidas y consultadas en la literatura se presentan a continuación.

#### **3.4.1 PROPIEDADES Y PARÁMETROS A MEDIR**

A continuación se muestran las propiedades a medir a través del proceso de extracción de colorante a escala laboratorio las cuales lo afectaran en cada una de las etapas, estas propiedades se deben tener en cuenta para el escalado industrial del mismo.

##### **3.4.1.1 Solución Líquida**

En las corrientes de líquidos los parámetros y propiedades relevantes son las siguientes:

- Viscosidad
- Densidad

- % Sólidos
- Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)
- Potencial de Hidrogeno (pH)
- Capacidad Calorífica (Cp)

A medida que se realiza la extracción en el laboratorio, se determina cuáles son las más convenientes a medir en cada una de las corrientes y cuales son las más importantes al momento de escalar el proceso. La corriente  $M_{02}$  es agua de proceso que ingresará con las especificaciones dadas por la empresa de acueducto de la ciudad donde se montará la planta.

#### **3.4.1.2 Sólidos**

En la corriente de sólidos los parámetros y propiedades relevantes en el diseño son las siguientes:

- Cantidad
- Densidad Sólidos
- Diámetro Medio de Partículas
- % Humedad
- Tamaño de Partícula
- Composición

### 3.4.3 RESULTADOS MEDICIÓN DE PARÁMETROS EN LABORATORIO

En las siguientes tablas se muestran los resultados de la medición de los parámetros en el laboratorio, estos datos servirán más adelante para los balances a escala industrial, el escalado de los equipos y la posterior elaboración de las fichas técnicas.

#### 3.4.3.1 Solución Líquida

La corriente M<sub>02</sub> es agua de proceso que entrara con las especificaciones dadas por la empresa de acueducto de la ciudad donde se montará la planta.

Tabla 1. Propiedades medidas en la corriente de líquidos

CORRIENTE	VISCOSIDAD	DENSIDAD LIQ	% SÓLIDOS	pH	Cp (cal/g °C)
M <sub>31</sub>	2.12 cp	1.008 g/m <sup>3</sup>	25.79	5.51	
M <sub>41</sub>	2.12 cp	1.008 g/m <sup>3</sup>	17.39	5.51	1 <sup>1</sup>

Se estima que el valor de DBO esta alrededor de 200 mg/l

#### 3.4.3.2 Sólidos

Tabla 2. Propiedades medidas en la corriente de sólidos.

CORRIENTE	CANTIDAD (g)	DENSIDAD SOL	DIAM. 1/2	% HUMEDAD	TAM PART
M <sub>01</sub>	135	0.597 g/ml	17.8 cm		
M <sub>21</sub>	132.2	0.6 g/ml		18	5000 μm
M <sub>42</sub>	22.33			74.2	
M <sub>51</sub>	8.1				40 μm

<sup>1</sup> Se trabajara con el Cp del agua a las condiciones 0.98 atm y 295 K ya que de esta corriente se obtiene una solución acuosa con partículas de colorante suspendidas las cuales no ocasionan un cambio considerable en el Cp de la solución.

Se determina la densidad bulk de la semilla necesaria para la capacidad de los tanques

$$\rho_{\text{bulk}} = 0.4 \text{ g/ml}$$

Tabla 3. Composición Semilla de Aguacate (Saldarriaga 2002)

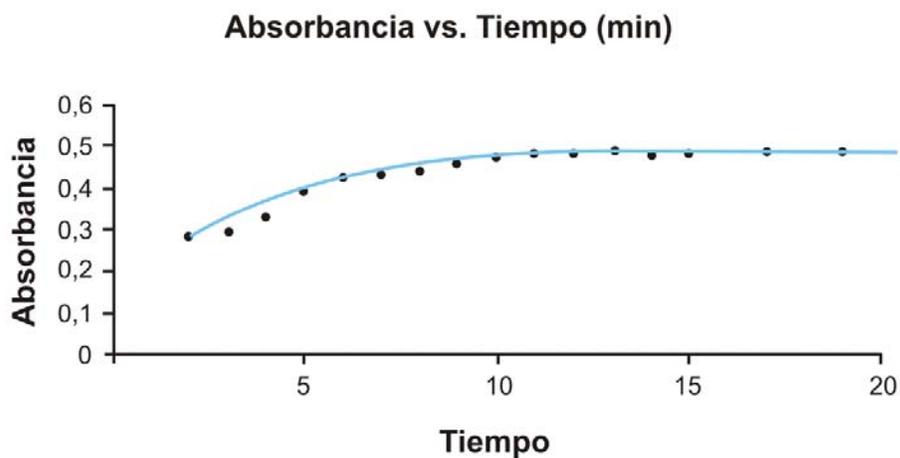
<b>Componente</b>	<b>%</b>
Agua	64.5
Proteínas	1.7
Grasas	26.4
Hidratos de Carbono	5.1
Calorías	264

### **3.5 DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA CINÉTICA DE EXTRACCIÓN**

Se determinó el tiempo de extracción realizando ensayos en el laboratorio y midiendo la absorbancia de la solución. Se tomaron muestras cada 1, 2, 5 minutos hasta que la absorbancia permanece constante lo que nos indica que ya no se presenta mas extracción de colorante. Las muestras fueron diluidas en proporción 1:20.

De la figura 13 se concluye que el tiempo de extracción es 10 minutos, donde se estabiliza la concentración del colorante en la solución. Este tiempo de extracción será el de diseño a nivel industrial.

Figura 13. Absorbancia vs. Tiempo. Extracción con Rotocell® Propuesto



### 3.6 BALANCES DE MATERIA

Teniendo un sistema por lotes, en donde no se produce reacción química en ninguna de sus operaciones, siendo M flujos másicos en gramos, T temperaturas en K y tomando la nomenclatura de la tabla de corrientes se tiene:

Tabla 4. Valores iniciales en el ensayo a escala laboratorio

Corriente	Descripción	Cantidad	Unidad
M <sub>01</sub>	Semillas de aguacate	135	g
M <sub>02</sub>	Agua	2000	ml
M <sub>03</sub>	Solución NaOH 3 M	135	ml
M <sub>21</sub>	Semillas Molidas	132.2	g
M <sub>32</sub>	Torta de Extracción Rotocell®	95.34	g
M <sub>42</sub>	Torta de Filtración Filtro	22.35	g
M <sub>51</sub>	Colorante en Polvo	8.1	g

#### Balance Global

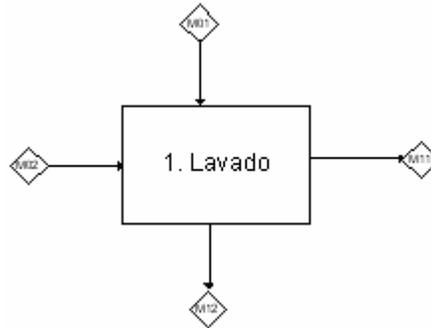
Se toma como volumen de control la figura 7.

$$M_{01} + M_{02} + M_{03} = M_{12} + M_{32} + M_{42} + M_{51} + M_{52} \quad (1)$$

Primero se plantea el balance para LAVADO

En el volumen de control de la figura 14 se identifican dos (2) corrientes de entrada  $M_{01}$  y  $M_{02}$ , y dos (2) de salida  $M_{11}$  y  $M_{12}$ :

Figura 14. Volumen de control. Etapa de Lavado



$$M_{01} + M_{02} = M_{11} + M_{12} \quad (2)$$

Conociendo las dos corrientes de entrada (tabla 1) la ecuación 2 queda así:

$$2135 = M_{11} + M_{12} \quad (3)$$

Se realiza el balance para MOLIENDA

$$M_{11} = M_{21} \quad (4)$$

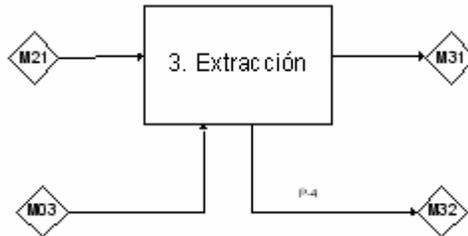
En esta corriente se conoce el peso de las semillas molidas, se tiene en cuenta que en el proceso en el laboratorio se encontraron pérdidas del 3% en esta etapa por lo tanto:

$$M_{21} = 132.2g \quad \text{Considerando las pérdidas} \quad M_{11} = 136.17g$$

Se calcula ahora en la ecuación (3) el valor para la corriente  $M_{12} = 1998.83g$  la cual se divide en 1986.15 g de  $H_2O$  y 12.69 g de desechos sólidos.

Balance para etapa de EXTRACCIÓN en el volumen de control:

Figura 15. Volumen de control. Etapa de Extracción



$$M_{03} + M_{21} = M_{31} + M_{32} \quad (5)$$

Conociendo los valores de las corrientes  $M_{21}$ ,  $M_{03}$  y  $M_{32}$  se cambian las unidades de la solución de NaOH para trabajar en las unidades que se has trabajado, es decir, gramos, el cálculo a realizar es el siguiente:

$$\rho_{NaOH} = 1.0038 \frac{g}{ml}$$

$$M_{03} = 135ml * 1.0038 \frac{g}{ml} = 135.52grsNaOH$$

$$M_{31} = 172.38g$$

Balance FILTRACIÓN

$$M_{31} = M_{41} + M_{42} \quad (6)$$

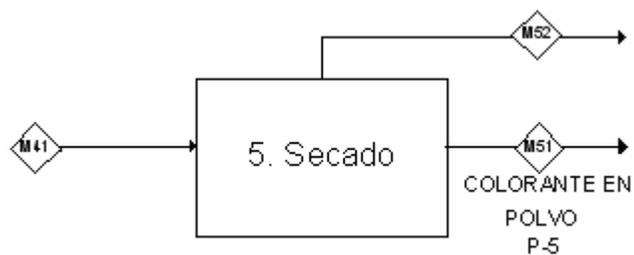
Para esta etapa conocemos los valores de las corrientes  $M_{31}$  y  $M_{42}$  por lo tanto se tiene

$M_{41} = 150.033g$  se hace un cambio de unidades para facilitar los cálculos siguientes, tomando como densidad de la solución  $\rho = 1.008 \frac{g}{ml}$  y se obtiene:

$$M_{41} = 148.842ml$$

Balance SECADO en el volumen de control:

Figura 16. Volumen de control. Etapa de Secado



$$M_{41} = M_{51} + M_{52} \quad (7)$$

$$150.033 \text{ gr} = 8.1 \text{ gr} + M_{52}$$

$$M_{52} = 141.933 \text{ g}$$

Los datos anteriores son presentados en el diagrama de bloques (figura 8).

Como cálculo final se tiene la eficiencia global del proceso:

$$\text{Eficiencia Global} : \frac{8.1 \text{ g Colorante}}{135 \text{ g Semillas}} = 6 \%$$

Tabla 5. Balance de Materia. Escala Laboratorio

Corriente	Descripción	Cantidad	Unidad
M <sub>01</sub>	Semillas de aguacate	135	g
M <sub>11</sub>	Semillas Lavadas	136.17	g
M <sub>02</sub>	Agua	2000	ml
M <sub>21</sub>	Semillas Molidas	132.2	g
M <sub>03</sub>	Solución NaOH 3 M	135	ml
M <sub>31</sub>	Solución Coloreada	172.38	g
M <sub>32</sub>	Torta de Extracción Rotocell®	95.34	g
M <sub>41</sub>	Clarificado	148.84	ml
M <sub>42</sub>	Torta de Filtración Filtro	22.35	g
M <sub>51</sub>	Colorante en Polvo	8.1	g
M <sub>52</sub>	Agua Evaporada	141.93	ml

## **4. PROCESO A ESCALA INDUSTRIAL**

La capacidad de producción de la planta se determina según el suministro de semillas de aguacate en el área metropolitana, que se estima en 260 Kg/día. Asimismo, se determina un número de lotes al día, principalmente, por el tamaño del extractor Rotocell®. Para una planta de estas dimensiones, se presenta el proceso propuesto a escala industrial, el diagrama de flujo del proceso, la selección de las principales operaciones unitarias así como la selección de equipos, los balances a escala industrial, la receta del proceso donde se presentan los tiempos del lote y el diagrama de *Gantt* necesario para el cálculo del mismo. En el anexo 3 se presenta el balance de materia llevado a escala industrial para un lote de producción.

### **4.1 DIAGRAMA DE FLUJO**

Un diagrama de flujo de proceso (PFD) Es una representación del proceso por medio de símbolos para cada equipo. Se enumeran las corrientes del proceso. Este diagrama va acompañado de una tabla de corrientes y una tabla de equipos, así como de una descripción detallada del proceso.

#### **4.1.1 TABLA DE CORRIENTES**

Una tabla de corriente debe acompañar siempre a un diagrama de flujo de proceso, para anotaciones importantes de cada corriente como sustancia, temperatura, presión, flujo, etc. Se utiliza como guía base para los balances de masa, así como para las especificaciones de los equipos.

Como se ve en la tabla 6 y figura 17.

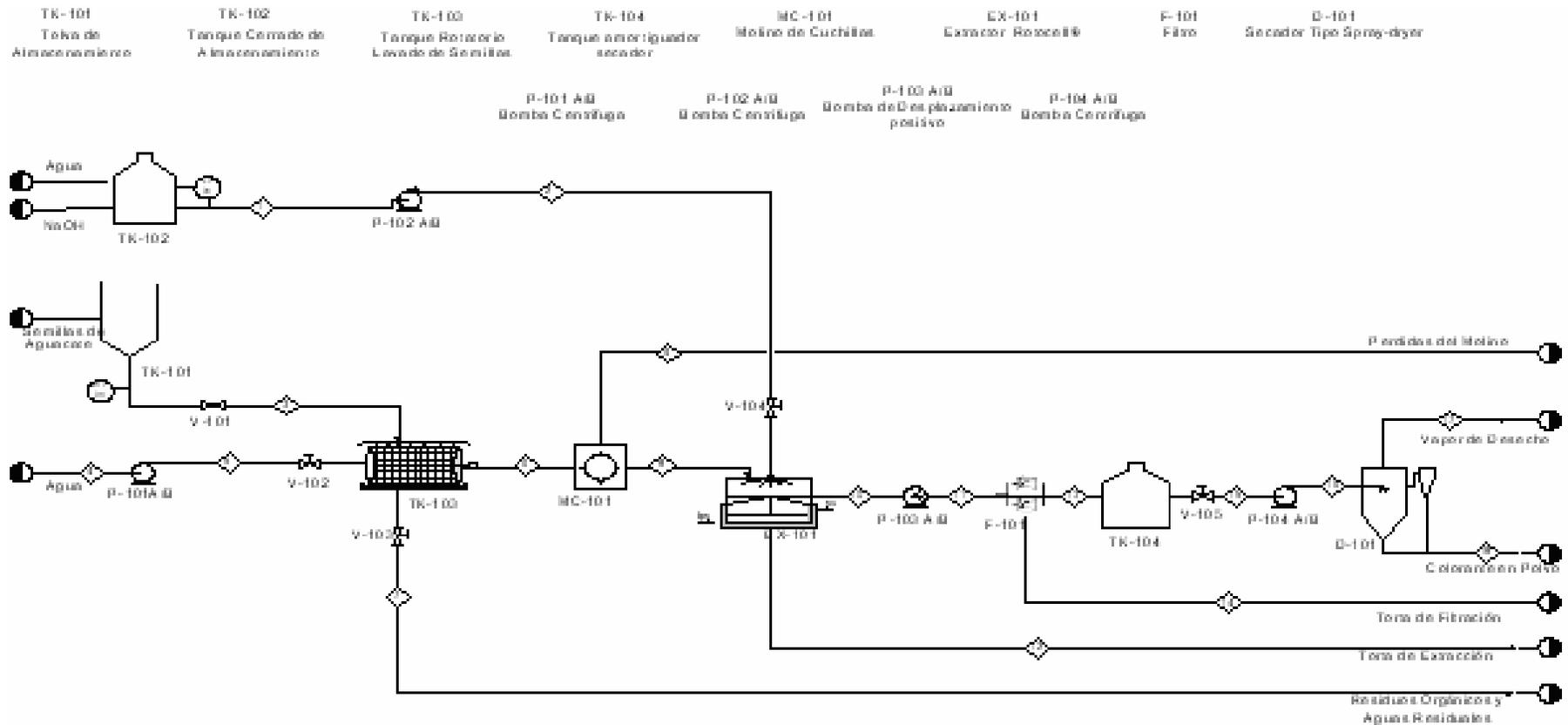
Tabla 6. Tabla de corrientes correspondiente al PDF del proceso

<b>Corriente</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Fracción de vapor	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Presión (psia)	12.37	41.77	12.37	12.37	41.77	12.37
Temperatura (K)	295.15	298.15	295.15	298.15	300.15	295.15
Semillas (kg)	0.0	0.0	260	0.0	0.0	257
Colorante (kg)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sln Coloreada (l)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sln NaOH (l)	260	260	0.0	0.0	0.0	0.0
Agua (l)	0.0	0.0	0.0	1000	1000	0.0

<b>Corriente</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>
Fracción de Vapor	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Presión (psi)	12.37	12.37	12.37	12.37	56.46	12.37
Temperatura (K)	295.15	295.15	295.15	333.15	333.15	333.15
Semillas (kg)	0.0	254.43	2.57	0.0	0.0	260.94
Colorante (kg)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sln coloreada (l)	0.0	0.0	0.0	254.48	254.48	0.0
Sln NaOH (l)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agua (l)	1003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

<b>Corriente</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
Fracción de Vapor	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0
Presión (psi)	56.46	56.46	56.46	85.85	12.37	12.37
Temperatura (K)	328.15	328.15	328.15	331.15	160	50
Semillas (kg)	0.0	2.55	0.0	0.0	0.0	0.0
Colorante (kg)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.6
Sln coloreada (l)	251.93	0.0	251.93	251.93	0.0	0.0
Sln NaOH (l)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agua (l)	0.0	0.0	0.0	0.0	236.33	0.0

Figura 17. Diagrama de Flujo, proceso de extracción de colorante a partir de la Semilla de Aguacate. Escala Industrial



#### 4.1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El Proceso de obtención de colorante de semillas de Aguacate inicia al abrir el tanque de almacenamiento TK-101. Las semillas frescas de aguacate son transportadas por medio de vagones al tanque lavador TK-103 (corriente 3), en donde se lavan con agua proveniente de empresas públicas de la ciudad donde se sitúa la planta (corriente 4 y 5), a temperatura y presión ambiente (22°C y 12.37 psia). A continuación se encienden los rociadores a presión que contiene el tanque rotatorio, de esta forma se lavan las semillas para limpiarles los restos de aguacate y los residuos sólidos que estas puedan tener; esta etapa produce una corriente de residuos orgánicos y aguas residuales (corriente 7). Al concluir el tiempo de lavado, las semillas son llevadas al molino de cuchillas MC-101, por medio de la corriente 6, en donde se reducen a un tamaño considerable (en un rango de 2-5 mm) para mejorar el área de contacto con la solución de NaOH y así obtener una buena extracción. En el molino se considera una corriente de perdidas (corriente 9).

Una vez efectuada la reducción de tamaño, las semillas son llevadas al extractor EX101, del tipo Rotocell® (corriente 8) en donde se adiciona NaOH al 3 M, proveniente del TK-102. La solución de NaOH se prepara al momento de iniciar el proceso para no perder concentración, luego se transporta por medio de una bomba centrífuga P-102 al Rotocell® (corriente 2). Una vez la solución está en circulación se enciende el motor que hace girar el cuerpo del Rotocell® y las celdas que contienen la semilla. Este proceso produce una torta de residuos orgánicos (corriente 12), debido a las celdas filtrantes que contiene el Rotocell®, esta corriente es liberada manualmente por parte de los operarios al finalizar el proceso de extracción. Al transcurrir el tiempo de extracción, se permite el paso de la corriente 10, por medio de la bomba de desplazamiento positivo P-103 del

extractor y la solución clarificada es llevada al filtro F-101, en el cual se filtra la solución coloreada, obteniendo una solución libre de partículas en suspensión que podrían provocar una obstrucción en el secador tipo *spray-dryer*. De esta etapa se produce una torta de residuos orgánicos más compacta que la anterior (corriente 14), pero muy inferior en cantidad.

Una vez la solución clarificada pasa por el filtro, se obtiene una solución libre de partículas suspendidas, la cual esta lista para ser llevada al secador D-101, por medio de la bomba centrífuga P-104 en la corriente 16. En el equipo, aunque la temperatura de operación es de 180°C, el tiempo de contacto es del orden de segundos y no se detectó alteración en el colorante (para prevenir la desnaturalización del colorante se sugieren temperaturas inferiores a 60°C). Una vez concluido el tiempo, se obtiene el colorante en polvo fino, libre de humedad y con un tamaño de partícula muy fino, para ser utilizado en la industria (corriente 18), el cual es empacado por el operario en bolsas de tela burda con capacidad de 15 Kg. El vapor de desecho que genera el equipo sale del proceso por la corriente 17.

## **4.2 SELECCIÓN EQUIPOS Y OPERACIONES UNITARIAS**

Se realiza la selección de los principales equipos necesarios en la extracción de colorante a partir de la semilla de aguacate, para algunos equipos hay más de una opción que es válida, para lo cual se tiene en cuenta factores económicos en su elección.

### **4.2.1 ALMACENAMIENTO**

#### **4.2.1.1 Solución de NaOH TK-102**

Para el almacenamiento de la solución de NaOH se selecciona un tanque de almacenamiento de polipropileno, debido a que este material presenta una excelente resistencia a la corrosión que se podría presentar por las condiciones ambientales en las cuales se encontrará ubicado. Además, a diferencia de otros materiales como el acero al carbón, el polipropileno está avalado para uso en procesos alimenticios como también lo está el acero inoxidable.

El tanque de almacenamiento es cilíndrico y de orientación vertical para un mejor aprovechamiento del espacio. Su ficha técnica se incluye en el anexo 2

#### **4.2.1.2 Almacenamiento de Semillas de Aguacate TK-101**

En la etapa de almacenamiento de las semillas se requiere una tolva alimentadora que permita la descarga de las mismas a los vagones que llevarán las semillas al tanque de lavado, se selecciona una tolva cilíndrica ya que es una tecnología conocida y económica, presenta como desventajas el daño del material pero al ser un material que posteriormente será llevado a una etapa de molienda no es

significativo a la hora de seleccionarlo, también presenta como desventaja la formación de puentes que generan bloqueo pero este se puede corregir manualmente con ayuda de un operario removiendo las semillas y facilitando así el flujo de estas.

#### **4.2.1.3 Transporte de semillas**

Para el transporte de las materias primas sólidas al tanque lavador y posteriormente a la etapa de molienda se seleccionan vagones para transporte de materiales sólidos, los cuales son diseñados y construidos para uso industrial pesado, cuentan con rodaderas para mayor facilidad de desplazamiento, son económicos pues requieren un mínimo mantenimiento, en su interior cuentan con una estructura lisa, higiénica, no absorbente y fácil de limpiar, fabricados de polímeros aptos para el contacto con alimentos. A diferencia de las bandas transportadoras, son más económicos ya que no requieren energía eléctrica ni instalaciones especiales.

Las principales características de los vagones se muestran en el anexo 2.

#### **4.2.2 LAVADO TK-103**

En el diseño del tanque de lavado se tienen en cuenta las principales ventajas que puede presentar, entre las cuales se encuentran las relacionadas con los costos de producción ya que son mas bajos comparados con otros tanques, los materiales de construcción presentan menores daños de almacenaje, también se tiene en cuenta que el pH de las materias primas no afecta el material con el cual se fabricará el tanque lavador. Este proceso se realizará con

agua proveniente de la red de alcantarillado municipal a la temperatura regular (aprox. 25°C) por lo tanto no se verá afectado el material.

Para esta operación se diseñó un tanque lavador con las siguientes especificaciones: tanque lavador con rotación lenta en sentido horizontal y flautas aspersoras de agua con 6 perforaciones por flauta en acero inoxidable para lavado de semillas de una capacidad de 1.178 m<sup>3</sup> con dimensiones de 1.5 m de alto y 1 m de diámetro, la potencia de giro necesariamente es de 4.0 HP, el sistema de transmisión es de cadena, este diseño permite que el tanque sea agitado para que cuando las semillas de aguacate se friccionen y golpeen entre si se logre un grado de limpieza entre ellas y se pueda eliminar algún residuo de fruta remanente. El esquema del tanque lavador se muestra en el Anexo 2.

#### **4.2.3 MOLIENDA MC-101**

Para el procesamiento de las semillas de aguacate antes de entrar a la etapa de extracción se selecciona un molino de cuchillas, ya que este es un equipo que puede triturar sustancias con alto contenido de agua, aceite o grasa. (Retsch, 2007) La trituración es rápida y homogénea, puede triturar partículas con una granulometría de entrada de 120 mm x 80 mm y la granulometría final se acerca a los 1 – 10 mm. Las características del equipo se presentan en la ficha técnica. (Anexo 3) La trituración se deberá realizar en 2 etapas, con distinta separación entre cuchillas.

El molino de cuchillas es el más idóneo para muestras duras o fácilmente quebradizas y sensibles a la temperatura, (Fritsch, 2007) suministran siempre una molienda de alta calidad, son económicos, de fácil limpieza, y presentan una larga duración.

Un molino de compresión también podría ofrecer un tamaño de partícula idóneo para la extracción.

#### **4.2.4 EXTRACCION SÓLIDO-LIQUIDO EX-101**

Para la etapa de extracción sólido-líquido se seleccionó un extractor tipo Rotocell® en el cual los tanques de lixiviación se mueven continuamente de forma que permiten la fácil introducción y descarga de sólidos. (TREYBAL. R.2003) El diseño principal consta de un rotor circular con un número determinado de celdas, cada una con un fondo de pantalla de aproximadamente 1 mm que servirá para sostener los sólidos. Este gira lentamente alrededor de un tanque estacionario con compartimientos. Al girar el rotor, cada celda pasa a su vez debajo de una serie de aspersores mediante los cuales cada una de estas celdas se empapa con el NaOH para así realizar la extracción. El disolvente de cada aspersion se recircula para mejorar la extracción y se realiza durante el tiempo necesario hasta obtener el resultado esperado.

El extractor comprado debe tener chaqueta de calentamiento con vapor. La extracción debe llevarse a 60°C para evitar la degradación del colorante no debe superar esta temperatura. El vapor usado es de baja presión a 50 psig.

Otra alternativa podría ser un extractor con orientación vertical y chaqueta de calentamiento, pero este debe contar con termómetros ubicados estratégicamente, cubriendo el área total, para evitar la degradación del colorante.

#### **4.2.5 FILTRADO F-101**

Para el filtrado de la solución extraída en la etapa anterior se decide utilizar un filtro de tela o manga filtrante para retirar las particular suspendidas de colorante que se encuentran en la solución. Se decide utilizar una manga filtrante cerrada en un

extremo, este tipo de mangas permite un óptimo filtrado de partículas pequeñas además de dar como resultado un clarificado ideal para llevar a la etapa de secado. Se tiene en cuenta para la selección de este tipo de filtro que el extractor tipo Rotocell® utilizado en la etapa anterior cuenta con una pantalla en la cual se depositan las semillas y esta actúa como un filtro dejando pasar la solución líquida y algunas partículas del colorantes que se encuentren suspendidas en la misma.

Las principales ventajas de este equipo son los bajos costos de operación, un diseño simple y la facilidad para operar tanto en un proceso continuo como en uno discontinuo. Se debe tener en cuenta que requiere mantenimiento constante para evitar rompimiento en las telas.

El filtro prensa es un equipo igualmente habilitado para cumplir con el porcentaje de sólidos necesario para siguiente etapa. No se podría utilizar ningún filtro que afecte la temperatura de la solución.

#### **4.2.6 SECADO D-101**

Para el proceso de secado del colorante en polvo se determina la utilización de un secador tipo *spray-dryer* ya que este presenta un secado a bajas temperaturas lo cual es necesario para evitar la degradación del colorante en polvo, además de ocupar poco espacio este tipo de secador evita la utilización de los procesos de secado en horno en el cual se corre el riesgo de una temperatura poco controlada y pulverización ya que el *spray dryer* nos da el tamaño de partícula necesaria al terminar el proceso. Como inconveniente este equipo presenta unos altos costos de operación los cuales se ven compensados en el ahorro de dos equipos como el secador y el pulverizador.

Para el secado del colorante se debe tener en cuenta la temperatura a la cual se va a realizar este procedimiento ya que a 60°C el colorante se degrada y pierde en un gran porcentaje sus propiedades.

#### 4.2.7 BOMBEO

Las bombas P-101, P-102 y P-104 se seleccionan centrífugas ya que tienen como ventaja un flujo de descarga uniforme, la variedad de fluidos que puede manejar y además este tipo de bombas se pueden trabajar en forma horizontal o vertical, como desventajas presenta un bajo rendimiento con fluidos viscosos, maneja bajas cantidades de gases o líquidos y no son efectivas para aplicaciones de una sola etapa. (POTTER, M. 2002)

La bomba P-102 se selección recíproca de desplazamiento positivo por que al contrario de la bomba centrífuga, esta bomba puede manejar líquidos viscosos, su capacidad es ajustable y es capaz de generar grandes presiones, como desventaja tiene su operación a bajas velocidades, rango limitado de capacidades, requiere un alto NPSH y es necesario un alto mantenimiento para su óptimo funcionamiento. (POTTER, M. 2002)

#### 4.3. ESCALADO DEL PROCESO

El escalado hacia arriba (*scale up*) se refiere al paso de una planta piloto a una planta industrial, conteniendo cantidades, equipos y costos de dimensiones mayores. En este caso se hizo un *scale down* del Rotocell®, para mejorar el tiempo de extracción, sin embargo no se consideraron dimensiones del equipo ni modelo matemático de la extracción sólido-líquido, porque éstos no se encuentran disponibles en la literatura. Es decir, sólo se hizo una adaptación física del equipo a menor escala.

Para el tanque lavador no es necesario aplicar metodologías de escalado porque a escala laboratorio esta etapa se llevó a cabo manualmente. Para los tres equipos restantes, Molino, filtro de talegas y *spray dryer*, se prefiere hacer una selección de

las principales variables de operación y presentar cotizaciones de estos equipos nuevos o usados. Las fichas técnicas de los equipos se presentan en el anexo 2.

#### 4.3.2 BALANCES DE MATERIA

La capacidad de producción de la planta se determina con base en la disponibilidad de materia prima. Por tratarse de un producto que no existe actualmente en el mercado no es posible determinar la cantidad de colorante exacta que se va a consumir, pero teniendo en cuenta que actualmente las industrias textiles, de cosméticos y alimentos se están enfocando en la utilización de colorantes naturales como sustituto de los artificiales se espera una buena incursión en el mercado.

El suministro de materia prima se da mediante empresas productoras de guacamole, restaurantes, plazas de mercado y cultivos en las cuales se desechan aguacates que no cumplen con los estándares requeridos para sacarlos al mercado, el suministro se estima en 260 Kg/día, se realizara 1 lote diario, los balances se realizan para un lote (tabla 7), los resultados se presentan en el siguiente cuadro y el balance de materia detalladamente en el Anexo 3.

Tabla 7. Valores obtenidos de los balances de Materia a escala industrial.

<b>Corriente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
M <sub>01</sub>	Semillas de aguacate	260	Kg
M <sub>11</sub>	Semillas lavadas	257	Kg
M <sub>02</sub>	Agua	1000	L
M <sub>21</sub>	Semillas molidas	254.43	Kg
M <sub>22</sub>	Pérdidas Molino	2.57	Kg
M <sub>03</sub>	Solución NaOH 3M	260	L
M <sub>31</sub>	Solución coloreada acuosa	254.48	L
M <sub>32</sub>	Torta de Filtración Rotocell®	260.94	Kg
M <sub>41</sub>	Clarificado	251.93	L
M <sub>42</sub>	Torta de Filtración Filtro	2.55	Kg

M <sub>51</sub>	Colorante en Polvo	15.6	Kg
M <sub>52</sub>	Agua Evaporada	236.33	L

Para calcular la capacidad de producción por día así como el número de lotes de producción se realizó una receta en la cual se detallan cada uno de los pasos a ejecutar en el proceso de producción así como los tiempos, como resultado de la misma se obtiene el diagrama de Gantt.

#### 4.4 RECETA DE UN LOTE

A continuación se presenta la receta para producir un lote de colorante en polvo a partir de la semilla de aguacate. Se muestra la duración estimada en cada uno de los procedimientos, el minuto en el cual empieza el proceso y el minuto en el que termina, para así obtener la duración total del tiempo de producción de un lote en horas, se esperan obtener 15.6 kg de colorante por lote empleando un total de 260 kg de semillas de aguacate, estos datos se mostraron en el numeral anterior. Como se puede observar en la tabla 8.

Tabla 8. Receta para la producción de un lote de colorante en polvo.

Tarea	Procedimiento	Duración estimada (min)	t inicial	t final
1	Disponer el vagón VG-101 debajo de la tolva TK-101: tarar la báscula WI-101.	2	0	2
2	Abrir V-101 del TK-101 y dejar drena 130 kg de semillas.	4	2	6
3	Llevar el vagón VG-101 y descargar las semillas en el tanque lavador TK-103	4	6	10
4	Repetir los pasos 2 y 3	4	10	14
5	Abrir válvula V-102 y encender P-101 A/B; chequear que la ducha del TK-103 funcione normalmente	3	14	17
6	Encender motor para iniciar funcionamiento de TK-103	1	17	18
7	Chequear el lavado de semillas en TK-103	4	18	22

<b>8</b>	Llenar el vagón VG-101, transportarlo y llenar el molino MC-101; repetir con otra carga hasta llenar el molino MC-101	4	22	26
<b>9</b>	Graduar los discos para un tamaño de partícula entre 1-2 cm. Llevar a cabo la molienda	3	26	29
<b>10</b>	Graduar los discos para un tamaño de partícula entre 2-5 mm. Llevar a cabo la molienda	3	29	32
<b>11</b>	Llenar el vagón VG-101 y alimentar E-101	4	32	36
<b>12</b>	Abrir válvula V-104 y encender P-102 A/B; encender la unidad de extracción EX-101	2	36	38
<b>13</b>	Llevar a cabo la Extracción	10	38	48
<b>14</b>	Encender P-103 A/B y chequear la filtración en el F-101, hasta el drenaje en el tanque amortiguador TK-104	3	48	51
<b>15</b>	Encender D-101 y esperar que alcance la temperatura de secado, aprox. 180°C	7	51	58
<b>16</b>	Abrir válvula V-105; encender P-104 A/B	1	58	59
<b>17</b>	Llevar a cabo el Secado	340	59	399
<b>Total min</b>		399		
<b>Total hora</b>		6,65		

La tabla anterior muestra un tiempo por lote de 399 minutos (6.65 horas), donde el tiempo de secado representa el 85% del tiempo de producción

#### 4.5 DIAGRAMA GANTT

El diagrama de Gantt es una herramienta gráfica cuyo objetivo es el de mostrar el tiempo de dedicación previsto para diferentes tareas a lo largo de un tiempo total determinado (figura 18). A pesar de que, en principio, el diagrama de Gantt no indica las relaciones existentes entre actividades, la posición de cada tarea a lo largo del tiempo hace que se puedan identificar dichas relaciones e interdependencias.

Figura 18. Diagrama de Gantt del proceso de producción

DIAGRAMA DE GANTT. PROCESO DE PRODUCCION COLORANTE														
EQUIPO	TIEMPO (HORAS)													
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
TK-101	█													
TK-102	█													
TK-103		█												
MC-101			█											
EX-101				█										
F-101					█									
D-101						█								

Se programa 1 lote por turno ya que la disponibilidad de la materia prima es limitada, cada lote emplea 260 Kg. de materia prima.

Como ya se mencionó, el equipo “cuello de botella” del proceso es el *spay-dryer* por la poca capacidad con la que se seleccionó. Se recomienda para la selección de los equipos de la planta multipropósito un secador de mayor capacidad, esto permite para períodos de abundancia en la cosecha de aguacate programar más lotes de producción.

## 5. ESTIMACIÓN DE COSTOS

Los costos totales de un proyecto están divididos en dos categorías: costos de capital y costos de operación. Cada uno de ellos comprende unidades diferentes, ya que los costos de capital solo se consumen al comienzo del proyecto y los costos operativos se consumen cada año de funcionamiento del proyecto. Se realiza un análisis de costos de capital y costos de operación, en donde se consideran los costos de imprevistos para la puesta en marcha del proceso. (Turton 2003)

### 5.1 COSTOS DE CAPITAL

Para el cálculo de estos costos se utilizan las cotizaciones de los equipos realizadas en la ciudad de Medellín y en el municipio de Itagüí, a excepción del Rotocell® que es necesario importarlo. El valor obtenido es corregido con un porcentaje destinado al terreno, las instalaciones necesarias y la puesta en marcha del proyecto. Los costos se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Costos de Capital. <sup>1</sup> incluye costos de importación

<b>EQUIPO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>Costos Capital (pesos)</b>
Bombas	4	5`100.000
Vagones	3	2`000.000
Tanque almacenamiento	3	7`300.000
Tanque Lavador	1	20`000.000
Molino	1	48`500.000
Extractor Rotocell®	1	173`000.000 <sup>1</sup>

Spray Dryer	1	150'000.000
Total		405'900.000

En la tabla 9 se presenta el precio de las bombas cotizadas en la empresa NOVASET de la ciudad de Cali, los vagones se cotizaron en Myton Industries en Bogotá, los tanques de almacenamiento y el tanque lavador fueron cotizados en EPI S.A. en Itagüí, el molino se cotizó en retsch .com, el Spray Dryer fue cotizado en ALSEC S.A. municipio de la Estrella y el valor del extractor Rotocell® se encontró en la pagina de saldos industriales referenciada en la bibliografía. El equipo que presenta un costo mas significativo es el extractor tipo Rotocell® pero se debe tener en cuenta que el uso de este tipo de equipos mejora considerablemente el proceso de extracción del colorante comparándolo con otros equipos utilizados en extracciones.

Para el cálculo de los costos totales de capital es necesario un margen de cobertura sobre el arrendamiento así como los imprevistos del proyecto. Por esta razón se toma un 18% del valor total del costo de los equipos (405900000) y en donde  $C_{total}$  significa costos de capital, según el método de costos modulares (Turton 2003):

$$C_{total} = 1.18 * 405900000 = \$ 478'962.000$$

Los costos de capital son 479 millones de pesos, contando el montaje de los equipos.

## 5.2 COSTOS DE OPERACIÓN

Consisten en costos relevantes para cada operación, en este caso se consideran los costos de: materias primas, servicios industriales, mano de obra, supervisión, mantenimiento, depreciación, impuestos y administración.

### 5.2.1 COSTOS DE MATERIAS PRIMAS

Para el cálculo de las materias primas se estima una producción anual de 4680 kilos, trabajando 300 días. Se presentan los datos por día, se debe recordar que se trabaja un lote de producción diario. Para las semillas de aguacate con un costo de semilla de 300\$/Kg, según los comerciantes mayoristas intervenidos (costo de 2007) se tiene:

$$\frac{260 \text{ kg semillas}}{\text{dia}} * \frac{300 \text{ dias}}{\text{año}} * \frac{\$ 300}{\text{Kg semilla}} = \$23.400.000$$

Para la solución de NaOH se debe realizar primero el cálculo para el agua empleada con un valor para el metro cúbico dado por EPM de Medellín en el año 2007 el cual es de \$1594.8 mas un cargo fijo mensual de \$6659.8, por lo tanto se tiene:

$$260 \frac{l}{\text{día}} * 300 \frac{\text{días}}{\text{año}} * 1.595 \frac{\$}{l} = 124.410 \frac{\$}{\text{año}} + 6659.28 \frac{\$}{\text{mes}} * 12 \frac{\text{meses}}{\text{año}} = 204321.36 \frac{\$}{\text{año}}$$

Para el cálculo del NaOH en escamas se tiene en cuenta la dilución de la corriente M03 de la tabla 7:

$$31.2 \frac{\text{Kg}}{\text{día}} * 300 \frac{\text{día}}{\text{año}} * 1800 \frac{\$}{\text{Kg}} = 16'848.000 \frac{\$}{\text{año}}$$

Se tiene así el costo total anual de la materia prima:

$$C_{MP} = \$40'488.322$$

### 5.2.2 COSTOS DE MANO DE OBRA

Estos son los costos asumidos para 2 operarios en un turno de 8 horas diarias, respetando las vacaciones respectivas de cada trabajador. Un operario trabaja 6 turnos semanales y 49 semanas al año y se les pagara el mínimo legal vigente mas un factor prestacional de 51%.

$$\frac{\$433.700 * (1.51)}{\text{mes}} * \frac{12\text{meses}}{1\text{año}} = 7'858.644 \frac{\$}{\text{año}} \quad \text{Salario anual por operario}$$

$$2 \text{ operarios} * 7'858.644 = \$15.717.288 / \text{año}$$

El costo de la mano de obra seria de \$15.717.288/año

### 5.2.3 OTROS COSTOS

Los costos de mantenimiento, depreciación, impuestos y administración se calculan en base a los costos de capital:

$$Cm = 0.02 * 478.962.000 = 9'579.240\$ / \text{año}$$

$$Cd = 0.1 * 478.962.000 = 47'896.200\$ / \text{año}$$

$$Cim = 0.014 * 478.962.000 = 6'705.468\$ / \text{año}$$

Sumando los costos de operación obtenemos un valor de 120'386.518 \$/año

### 5.3 CÁLCULO DEL VPN

Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros. El método descuenta una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado. La obtención del VPN constituye una herramienta fundamental para la evaluación y gerencia de proyectos, así como para la administración financiera. (Sapag 1989)

El precio de un colorante sintético de color rojo oscuro para alimentos está alrededor de \$30500 para presentación de 1 Kg. (Colorquímica 2007). Para este estudio, se estima que los precios para los productos del mercado “verde” superan hasta dos veces el precio de la competencia de origen sintético. A continuación se consideran dos escenarios para la industria de alimentos, en donde se varía el precio de venta hasta dos veces el precio del colorante que se espera sustituir.

Primer escenario: Se considera una presentación inicial de 15 kg por un precio de \$915.000 un flujo de caja de 5 años y porcentaje de uso de la capacidad de la planta en 60% para los 2 primeros años y el 100% para los 3 años restantes, como se puede ver en la tabla 10.

Tabla 10. Cálculo de VPN. Escenario I. en pesos Colombianos

Periodo	0	1	2	3-5
<b>Egresos</b>	<b>478.962.000</b>	<b>-120.386.518</b>	<b>-120.386.518</b>	<b>-120.386.518</b>
<b>Ingresos</b>		<b>2.569.320.000</b>	<b>2.569.320.000</b>	<b>4.282.200.000</b>
<b>Unidades vendidas</b>		<b>2.808</b>	<b>2.808</b>	<b>4.680</b>
<b>Precio unitario</b>		<b>915.000</b>	<b>915.000</b>	<b>915.000</b>
<b>Interés</b>	<b>25%</b>			
<b>VPN</b>	<b>6.597.418.049</b>			

Segundo escenario: se consideran los parámetros mencionados en el primer escenario excepto el precio de venta por unidad (15 Kg), el cual se estima en \$457.500, como se observa en la tabla 11.

Tabla 11. Cálculo de VPN. Escenario II en pesos Colombianos.

<b>Periodo</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3-5</b>
<b>Egresos</b>	<b>478.962.000</b>	<b>-120.386.518</b>	<b>-120.386.518</b>	<b>-120.386.518</b>
<b>Ingresos</b>		<b>1.284.660.000</b>	<b>1.284.660.000</b>	<b>2.141.100.000</b>
<b>Unidades vendidas</b>		<b>2.808</b>	<b>2.808</b>	<b>4.680</b>
<b>Precio unitario</b>		<b>457.500</b>	<b>457.500</b>	<b>457.500</b>
<b>Interés</b>	<b>25%</b>			
<b>VPN</b>	<b>2.977.623.002</b>			

En los dos escenarios se obtiene un valor positivo del VPN \$6.597.418.049 y \$2.977.623.002 indicando una viabilidad financiera del proyecto. Para cualquiera de estos escenarios se asume que el colorante compite en el mercado por sus facultades y propiedades más que por su precio.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que este estudio alimenta a un posterior análisis de integración de dos plantas de colorantes naturales, en donde se realizará un nuevo análisis financiero del proyecto.

## 6. CONCLUSIONES

1. Se fija la capacidad de producción con base en la disponibilidad de la materia prima, la cual se estima en 260 kg/día de semillas (lo que corresponde a 2000 semillas aproximadamente), se encontraron problemas acerca del suministro de esta ya que al ser un residuo de varios tipos de procesos, empresas y/o restaurantes la consecución no es tan constante y abundante como se esperaba.
2. La selección de los equipos involucrados en el proceso, se realizó con una mentalidad de vanguardismo industrial y buscando equipos novedosos como el *spray dryer*, Rotocell® y las mangas filtrantes, con el objetivo de proporcionar una vida útil de la planta de mínimo 12 años y unos costos de capital viables.
3. Al realizar el proceso de extracción de colorante a escala laboratorio según la metodología sugerida en tesis anteriores (Saldarriaga 2002), se mejoró el diseño del extractor, haciendo un *scale down* del extractor industrial tipo Rotocell® y se trabajó con un tiempo de extracción a 10 minutos, lo que significa una reducción desde 20 hasta 110 minutos con respecto al tiempo de extracción manejado en los proyectos anteriores; la otra ventaja es la poca degradación de la solución, lo que deriva en mejor calidad del colorante y un color más estable y repetitivo, rojo oscuro.
4. Se reemplazó el secado en horno el cual requiere una siguiente etapa de pulverización, por una etapa de secado por atomización en el cual se presenta una considerable reducción en el tiempo en el cual se llevaban a cabo estas 2 etapas del proceso, además de obtener como resultado un

colorante en polvo con un tamaño de partícula muy fino para ser empleado en la industria.

5. Dado que el secador tipo *spray-dryer* permite un porcentaje de sólidos entre 50 y 60% (Perry. R. H. 1996) y una viscosidad cercana a la del agua se decide después de varios ensayos en el laboratorio eliminar la etapa de evaporación en la cual se concentra la solución y por lo tanto aumenta su viscosidad. Al eliminar esta etapa se evita además incurrir en la compra de un equipo el cual deberá ser comprado y/o diseñado con características especiales los cuales elevarían su precio, aumentando también los costos de montaje de la planta los cuales se verían reflejados en el precio del producto final.
6. El uso de metodologías de escalado no fueron necesario y se prefirió hacer una selección de las principales variables de operación a la hora de escoger un equipo de acuerdo a la capacidad de producción. Para la selección de los equipos se realizaron las fichas técnicas de los mismos, en las cuales se mencionan las características de operación más relevantes.
7. De acuerdo al cálculo del VPN el proyecto es económicamente viable para los dos escenarios \$6.597.418.049 y \$2.977.623.002 respectivamente, para la industria alimenticia la cual es el principal objetivo de este colorante, ya que se espera reemplazar inicialmente los colorantes artificiales en esta industria e ir entrando paulatinamente en las industrias textiles y de cosméticos en las cuales se espera una buena aceptación del colorante natural.
8. El estudio financiero presentado en este proyecto da VPN positivo para el escenario II, \$3.096.445.657 y teniendo en cuenta que los valores de los

costos operativos y los costos de capital son variables para cada escenario ya que están en función de equipos, materiales, costos de materia prima, etc., comparándolos con otros proyectos similares (Yarce. A. 2007) son relativamente competitivos y se enfocan en un pareto económico. Cabe mencionar que los datos del estudio financiero obtenidos aquí alimentan un análisis posterior de la unificación de dos plantas para colorantes naturales donde puede ser reevaluada esta viabilidad.

9. Para el diseño del proceso se presentan los documentos de ingeniería necesarios para el mismo en los cuales se muestran los diferentes equipos utilizados en el proceso de producción, para la realización de estos se tuvo en cuenta la capacidad de producción de la planta y los diferentes tiempos de procesos. El extractor se sobredimensiona casi al doble de la capacidad calculada pensando en una posible expansión de la planta de producción al lograr un acuerdo con los diferentes proveedores de materia prima para evitar así incurrir en nuevos gastos al tener que comprarse un extractor de mayor capacidad.

## 7. RECOMENDACIONES

1. En la etapa de filtrado se encontró que gran cantidad de los sólidos que quedan en esta etapa son partículas de colorante, se deberá analizar posteriormente la posibilidad de separar estos sólidos y adicionar una etapa de secado en bandejas para aprovechar este colorante.
2. Se debe hacer un acuerdo con las empresas para las cuales estas semillas pueden ser un problema y así llegar estas a ser proveedores habituales de las mismas y tener un suministro constante de las mismas garantizando también una buena y constante producción de colorante.
3. Realizar pruebas a nivel de laboratorio para analizar la solubilidad de este colorante en base agua y base aceite para así saber las diferentes formas de aplicación del mismo.
4. Concientizar las empresas acerca de los beneficios que trae el uso de colorantes naturales para dar a conocer estos productos y así incursionar en el mercado de los colorantes y lograr desplazar poco a poco los colorantes artificiales.
5. Se recomienda el empleo de un *spray-dryer* de mayor capacidad ya que con el seleccionado, el tiempo de secado es muy grande. Empleando un secador de mayor capacidad este disminuye y por lo tanto el tiempo de lote se reducirá considerablemente además se debe tener en cuenta las épocas de abundancia de semillas en las cuales se podrá incrementar la producción.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. ANGEL, Juan David. Ingeniero Mecánico. Universidad Eafit (2007)
2. Colorquímica. Colorante Artificiales. <http://www.colorquimica.com.co>. (Enero 2007).
3. Comber, R.D., Haveland-Smith, R.B. A review of the genotoxicity of food, drug and cosmetic colors and other azo, triphenylmethane and xanthenes dyes. Mutation Res. 98, 101-248.<http://milksci.unizar.es/adit/colornat.html> (Julio 2006).
4. El mejor sitio sobre Nutrición, Salud y Prevención de la obesidad. Sabroso Aguacate.<http://www.obesidad.net/spanish2002>. (Julio 2006).
5. ESCOBAR, Jaime A. El Diseño Conceptual: A Systematic Approach for the Process & Chemical Engineer. Medellin. Universidad EAFIT. (2001).
6. Fritsch (2007). Molinos. En: *Molinos de cuchillas*. [Pagina Web], disponible en: [http://www.fritsch.de/data/prospekte/spa\\_uebersicht\\_image.pdf](http://www.fritsch.de/data/prospekte/spa_uebersicht_image.pdf). Consulta: 8 de octubre de 2007.

7. ICT Filtración- Mangas, telas filtrantes y filtros. Eficacia en filtración. <http://www.ictfiltracion.com/principal.php?i=es>. (Julio 07).
8. EL CULTIVO DEL AGUACATE (1ª parte). [http://www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/aguacate.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/aguacate.htm). (Julio 2006).
9. Labso S.A. Saldos industriales. Compre equipos, materias primas, maquinaria y bienes de consumo. <http://www.saldosindustriales.com/listado.asp?pcategoria//=industriales> (Septiembre 2007).
10. LAVAL LAB. INC Generating Creative Solutions <http://www.lavallab.com/es/laboratory-mill/blade-cutting-mill.htm> (Octubre 2007)
11. Retsch (2007). Molinos. En: *Molinos de cuchillas*. [Pagina Web], disponible en: <http://www.retsch.com/171.0.html?&L=>. Consulta: 8 de oct de 2007.
12. Mc CABE, Warren L. Operaciones unitarias en ingeniería química. Madrid. Mc Graw Hill. 4<sup>th</sup> Edición. 1998
13. METAROM IBÉRICA S.A. Aromas y Colorantes. Barcelona. <http://empresas.mundivia.es/metayer/colornatur.htm>. (julio 2006).
14. MONTGOMERY, Susan. Visual Encyclopedia of chemical engineering equipment. (1999).
15. Myton Industries, Inc. Vagones de servicio. <http://www.mytonindustries.com/spanish/c.html> (Marzo 2007)
16. PERRY, R.H. Perry's chemical engineering handbook. New York; Mc Graw Hill. 7<sup>th</sup> Edición. (1996).
17. POTTER. Merle; WIGGERT. David. Mecánica de Fluidos. México. Thomson. 3<sup>rd</sup> Edición (2002)
18. SALDARRIAGA, Diego. Diseño de un proceso de extracción industrial del colorante de la semilla del aguacate. 2002, Trabajo de Grado (Ingeniería de procesos. Universidad EAFIT). Facultad de ingeniería de procesos.

19. Spray Dryer System INC. SDS MODEL 48 SPRAY DRYER.  
<http://www.spraydrysys.com/model48.htm>.(Julio 07).
20. TREYBAL, Robert E. Operaciones de Transferencia de Masa. México. Mc Graw Hill. 2<sup>nd</sup> Edición. (2003).
21. TURTON, R; BAILIE, R. Analysis, Synthesis and Design of Chemical Process. Prentice Hall. Segunda Edición. Estado Unidos de América. (2003).
22. United Engineering (Eastern) Corporation 2003-04..Solvent extraction.  
<http://64.233.167.104/search?q=cache:4BG8xC2DUsAJ:www.uec-india.com/solvent-extraction-Plant.html+rotary+extractor&hl=es&ct=clnk&cd=20&gl=us>. (Julio 07)
23. SAPAG, R; SAPAG, N. Preparacion y Evaluacion de Proyectos. McGraw Hill. Segunda Edición. México. (1989).

## Anexo 1. ENCUESTA ESTUDIO DE MERCADO

### ENCUESTA DE MERCADO

Fecha: Agosto 28 de 2006

**Objetivo:** Conocer el interés por parte de empresas que utilizan colorantes artificiales de incorporar en sus procesos colorantes de origen natural

### COLORANTE A PARTIR DE LA SEMILLA DEL AGUACATE

Cliente/Empresa \_\_\_\_\_

1. Señale con una X la razón por la cual utiliza colorantes artificiales

Precio \_\_\_\_\_ Calidad del colorante \_\_\_\_\_ Oferta del mercado \_\_\_\_\_

2. ¿Conoce usted el colorante a partir de la semilla de aguacate?

SI \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

3. Con respecto al colorante artificial, ¿cuánto estaría usted dispuesto a pagar?

Menos del doble \_\_\_\_ más del doble pero menos del triple \_\_\_\_\_ más del triple \_\_\_\_

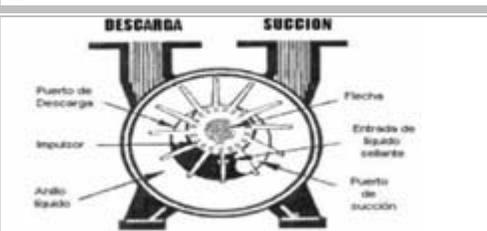
4. ¿En que presentación preferiría usted el colorante?

Polvo \_\_\_\_\_ Líquido \_\_\_\_\_ Spray \_\_\_\_\_

## Anexo 2. FICHAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

BOMBA P-101		
DATOS DE OPERACIÓN		
Tipo de Bomba	Centrifuga	
Fluido que Transporta	Agua	
Caudal (L)	650	
	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	22	25
Presión (Psi)	12.37	41.77
Viscosidad (cP)	1	1
DATOS DE CONSTRUCCIÓN		
Material	Acero al Carbón	
Masa (Kg)	50	
Altura máxima de Elevación (m)	60	
Inercia Rotacional (N)	50	
DATOS DEL MOTOR		
Tipo de Motor	Regulado	
Potencia (KW)	0.55	
Máxima Revoluciones (rpm)	3000	
Esquema		
ELABORÒ	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes	
APROBÒ	Marcela Mora	
FECHA	Septiembre del 2007	

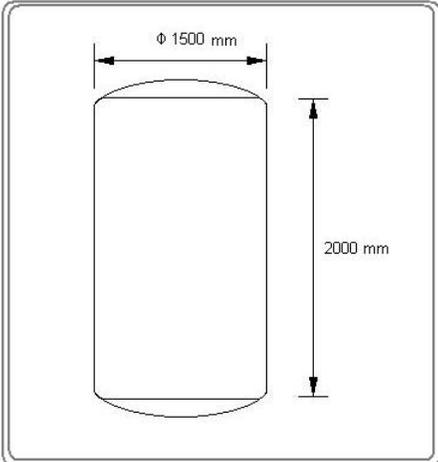
BOMBA P-102		
DATOS DE OPERACIÓN		
Tipo de Bomba	Centrifuga	
Fluido que Transporta	Solución NaOH	
Caudal (L)	650	
	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	25	27
Presión (Psi)	12.37	41.77
Viscosidad (cP)	1	1
DATOS DE CONSTRUCCIÓN		
Material	Acero al Carbón	
Masa (Kg)	50	
Altura máxima de Elevación (m)	60	
Inercia Rotacional (N)	50	
DATOS DEL MOTOR		
Tipo de Motor	Regulado	
Potencia (KW)	0.55	
Máxima Revoluciones (rpm)	3000	
Esquema		
ELABORÒ	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes	
APROBÒ	Marcela Mora	
FECHA	Septiembre del 2007	

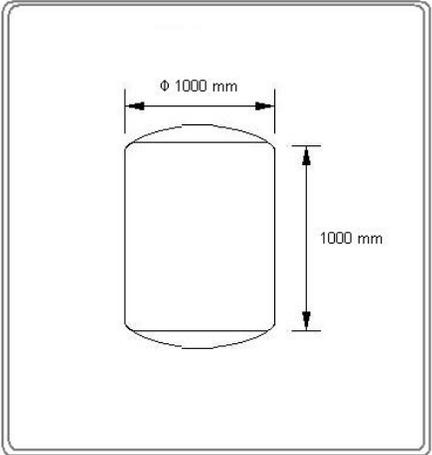
BOMBA P-103		
DATOS DE OPERACIÓN		
Tipo de Bomba	Desplazamiento Positivo	
Fluido que transporta	Trozos de semilla de Aguacate y solución coloreada de NaOH	
Fluido total de entrada (l/hr)	345	
Características Especiales	Certificadas para uso de comestibles, es posible la esterilización	
	Entrada	Salida
Temperatura	50-70°C	50-60°C
Presión (Psi)	12.37	56.46
Viscosidad (cP)	1.6	1.6
DATOS DE CONSTRUCCIÓN		
Material	Acero Inoxidable	
Capacidad Nominal (m3/hr)	0-8.6	
Rango de Viscosidad (cP)	1-110.000	
DATOS DEL MOTOR		
Máxima Revoluciones (rpm)	850	
Potencia (KW)	2	
Esquema		
ELABORÒ	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes	
APROBÒ	Marcela Mora	
FECHA	Septiembre del 2007	

BOMBA P-104		
DATOS DE OPERACIÓN		
Tipo de Bomba	Centrifuga	
Fluido que Transporta	Solución Coloreada Acuosa	
Caudal (L)	650	
	Entrada	Salida
Temperatura (°C)	55	58
Presión (Psi)	56.46	85.85
Viscosidad (cP)	1	1
DATOS DE CONSTRUCCIÓN		
Material	Acero al Carbón	
Masa (Kg)	50	
Altura máxima de Elevación (m)	60	
Inercia Rotacional (N)	50	
DATOS DEL MOTOR		
Tipo de Motor	Regulado	
Potencia (KW)	0.55	
Máxima Revoluciones (rpm)	3000	
Esquema		
ELABORÒ APROBÒ FECHA	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes Marcela Mora Septiembre del 2007	

VAGONES DE CARGUE*	
DATOS DE OPERACIÓN	
Compuesto que Almacena	Semillas de aguacate
DATOS DE CONSTRUCCIÓN	
Ancho (m)	1.109
Largo (m)	1,020
Alto (m)	1.070
Volumen (m <sup>3</sup> )	1.21
Peso (kg)	36
Capacidad (L)	590
Capacidad Semillas (kg)	70
Material Fabricación	Residuos de polímeros
Forma	Rectangular
Esquema	
ELABORÒ APROBÒ FECHA	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes Marcela Mora Septiembre del 2007

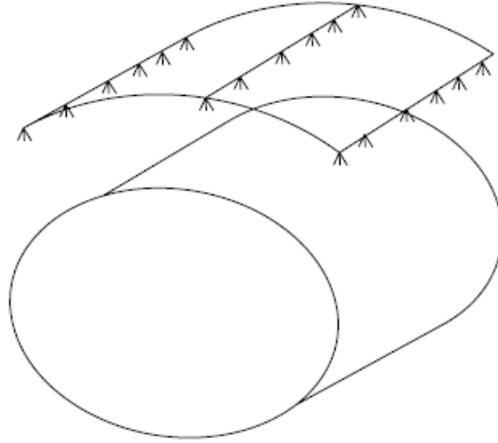
\* <http://www.mytonindustries.com/spanish/c.html>

TANQUE DE ALMACENAMIENTO TK-101	
DATOS DE OPERACIÓN	
Compuesto que Almacena	Semillas de aguacate
Temperatura	25 °C
DATOS DE CONSTRUCCIÓN	
Diámetro de la base (mm)	1500
Volumen del tanque(m <sup>3</sup> )	3.53
Longitud de la base (mm)	2000
Espesor de lamina (mm)	4.5
Forma del Tanque	Cilíndrico
Orientación del tanque	Vertical
Material	Polipropileno alta densidad
Esquema	
ELABORÒ APROBÒ FECHA	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes Marcela Mora Septiembre del 2007

TANQUE DE ALMACENAMIENTO TK-102	
DATOS DE OPERACIÓN	
Compuesto que Almacena	Solución de NaOH al 3M
Temperatura	25 °C
DATOS DE CONSTRUCCIÓN	
Diámetro del tanque (mm)	1000
Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	0.79
Longitud del Tanque (mm)	1000
Espesor de Lamina (mm)	4.5
Forma del Tanque	Cilíndrico
Orientación del tanque	Vertical
Material	Polipropileno
Esquema	 <p>The diagram shows a vertical cylindrical tank. A horizontal dimension line at the top indicates a diameter of 1000 mm, labeled as <math>\phi 1000 \text{ mm}</math>. A vertical dimension line on the right side indicates a height of 1000 mm. The tank has a slightly rounded top and bottom.</p>
ELABORÒ APROBÒ FECHA	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes Marcela Mora Septiembre del 2007

TANQUE LAVADOR TK-103	
DATOS DE OPERACIÓN	
Compuesto que Almacena	Semillas de Aguacate y agua
Temperatura	25 °C
DATOS DE CONSTRUCCIÓN	
Diámetro del tanque (mm)	1000
Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	1.178
Longitud del Tanque (mm)	1500
Forma del Tanque	Cilíndrico
Diámetro del alambre de rejilla (in)	¼
Orientación del tanque	Horizontal
Potencia de giro	4.0 HP
Sistema de transmisión	Cadena
Cantidad de Ménsulas	4
Espesor de lamina de Ménsulas (mm)	9
Material de Ménsulas	Acero al carbón
Material del tanque	Acero inoxidable
Diámetro Flauta (in)	1
Cantidad de Flautas	3
Perforaciones por Flauta	6
Tamaño perforación (mm)	1-3
Esquema  Vista Frontal	

Esquema



ELABORÒ  
APROBÒ  
FECHA

Andrea C. Florez, Maria A. Yepes  
Marcela Mora  
Septiembre del 2007

TANQUE DE ALMACENAMIENTO TK-104	
DATOS DE OPERACIÓN	
Compuesto que Almacena	Solución Clarificada
Temperatura	50 °C
DATOS DE CONSTRUCCIÓN	
Diámetro del tanque (mm)	500
Volumen del tanque (m <sup>3</sup> )	0.137
Longitud del Tanque (mm)	700
Espesor de Lamina (mm)	4.5
Forma del Tanque	Cilíndrico
Orientación del tanque	Vertical
Material	Polipropileno
ELABORÒ	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes
APROBÒ	Marcela Mora
FECHA	Septiembre del 2007

MOLINO DE CUCHILLAS MC-101*	
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>	
Compuesto que Tritura	Semillas de Aguacate
Temperatura	25 °C
<b>DATOS DE CONSTRUCCIÓN</b>	
Principio de Operación	Corte
Diámetro Rotor (mm)	220
Tamaño maximo alimentación (mm)	100
Capacidad	500 Kg/h
Ancho Rotor (mm)	136
Material	Acero inoxidable
Esquema	
ELABORÒ APROBÒ FECHA	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes Marcela Mora Septiembre del 2007

\* [www.retsch.com/47.0.html?!L=1](http://www.retsch.com/47.0.html?!L=1)

SPRAY DRYER D-101*	
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>	
Compuestos Alimentados	Solución clarificada coloreada
Temperatura de Operación	20-70°C
<b>DATOS DE CONSTRUCCIÓN</b>	
Capacidad (Kg/h)	75
Área necesaria (mm <sup>2</sup> )	4219
Tamaño final Partícula	70-100 μ
Porcentaje de Sólidos en Solución	10-30%
Orientación del tanque	Vertical
Material del tanque	Acero al carbón
Esquema	
ELABORÒ APROBÒ FECHA	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes Marcela Mora Septiembre del 2007

\* <http://www.spraydrysys.com/model48.htm>

EXTRACTOR Rotocell® EX-101	
DATOS DE OPERACIÓN	
Compuestos Alimentados	Semillas de aguacate y solución de NaOH
Temperatura de Operación	50-70°C
DATOS DE CONSTRUCCIÓN	
Ancho del tanque (mm)	1418
Altura del Tanque (mm)	1266
Volumen (m <sup>3</sup> )	1.41
Forma del Tanque	Cilíndrico
Orientación del tanque	Vertical
Espesor de lamina (mm)	4.5
Cantidad de Celdas	13
Tamaño de poro del Filtro (mm)	2
Material del Filtro	Acero inoxidable
Material de las celdas	Polipropileno
Material del tanque	Acero inoxidable
Esquema	<p>The diagram illustrates the internal components and flow of the Rotocell extractor. It shows a cylindrical tank with multiple rotating cells. Solvent + oil (miscela) enters from the top left. Solids (bean flakes) are fed into the cells. The solids are discharged from the bottom left. Leached solids exit from the bottom. Solvent (hexane) is added to the bottom. The rotating cells are shown with a spray mechanism. Interstage liquid is collected and flows to the right, where it is mixed with solvent + oil.</p>
ELABORÒ APROBÒ FECHA	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes Marcela Mora Septiembre del 2007

FILTRO F-101*	
<b>DATOS DE OPERACIÓN</b>	
Tipo de Filtro	Manga filtrante
Compuestos Alimentados	Solución coloreada
Temperatura de Operación	40-50°C
<b>DATOS DE CONSTRUCCIÓN</b>	
Material filtrante	Polipileno
Temperatura Máxima	110°C
Resistencia	Ácidos
Retención	1-100 µm
ELABORÒ	Andrea C. Florez, Maria A. Yepes
APROBÒ	Marcela Mora
FECHA	Septiembre del 2007

---

\* <http://www.ictfiltracion.com/principal.php?i=es>

### Anexo 3. BALANCE DE MATERIA A ESCALA INDUSTRIAL

Los balances a escala industrial se realizaron para un lote con una capacidad de procesamiento de 260 kg/lote de materia prima

#### Balance Global

$$M_{01} + M_{02} + M_{03} = M_{12} + M_{32} + M_{42} + M_{51} + M_{52} \quad (1)$$

Primero se plantea el balance para LAVADO

En esta etapa se identifican dos (2) corrientes de entrada  $M_{01}$  y  $M_{02}$ , y dos (2) de salida  $M_{11}$  y  $M_{12}$ :

$$M_{01} + M_{02} = M_{11} + M_{12} \quad (2)$$

Conociendo las dos corrientes de entrada la ecuación 2 queda así:

$$M_{01} = 260 \text{ Kg}$$

$$M_{02} = 1000 \text{ l}$$

$$1260 \text{ kg} = M_{11} + M_{12} \quad (3)$$

Se considera 1.1% de pérdidas de sólidos lavados lo que da como resultado

$$M_{11} = 257 \text{ Kg}$$

$$M_{12} = 1003 \text{ kg}$$

Se realiza el balance para MOLIENDA

$$M_{11} = M_{21} + M_{22} \quad (4)$$

En esta corriente se conoce el peso de las semillas molidas, se tiene en cuenta que en el proceso a escala industrial se estiman unas perdidas de 1% las cuales se eliminan en la corriente  $M_{22}$

$$M_{21} = 254.43 \text{ Kg}$$

$$M_{22} = 2.57 \text{ Kg}$$

Balance para etapa de EXTRACCIÓN

$$M_{03} + M_{21} = M_{31} + M_{32} \quad (5)$$

Se cambian las unidades de la solución de NaOH para trabajar en las unidades que se has trabajado, es decir, gramos, el cálculo a realizar es el siguiente:

$$\rho_{NaOH} = 1.0038 \frac{\text{Kg}}{\text{l}}$$

$$M_{03} = 260 \text{ l} * 1.0038 \frac{\text{Kg}}{\text{l}} = 260.988 \text{ Kg NaOH}$$

En esta etapa se tiene en cuenta que las semillas molidas absorben aproximadamente un 1% de NaOH (2.61 Kg NaOH) y que un 1% de sólidos pasan al clarificado 1 (2.55 Kg). Por lo tanto

$$M_{31} = 254.48 \text{ Kg}$$

$$M_{32} = 260.94 \text{ Kg}$$

Balance FILTRACIÓN

$$M_{31} = M_{41} + M_{42} \quad (6)$$

Teniendo en cuenta que los sólidos suspendidos son los que se pasan de la cama sólida al clarificado 1, el valor para esta corriente es  $M_{42} = 2.55 \text{ Kg}$ . Por lo tanto

$$M_{41} = 251.93 \text{ Kg}$$

## Balance SECADO

$$M_{41} = M_{51} + M_{52} \quad (7)$$

Tomando como base la eficiencia global del proceso encontrada en el proceso a escala laboratorio se puede obtener el valor de la corriente  $M_{51}$  la cual es el colorante producido

$$M_{51} = 15.6 \text{ Kg}$$

Se calcula el valor del agua evaporada

$$M_{52} = 236.33 \text{ Kg}$$

<b>Corriente</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
M <sub>01</sub>	Semillas de aguacate	260	Kg
M <sub>11</sub>	Semillas lavadas	257	Kg
M <sub>02</sub>	Agua	1000	L
M <sub>21</sub>	Semillas molidas	254.43	Kg
M <sub>22</sub>	Pérdidas Molino	2.57	Kg
M <sub>03</sub>	Solución NaOH 3M	260	L
M <sub>31</sub>	Solución coloreada acuosa	254.48	L
M <sub>32</sub>	Torta de Filtración Rotocell®	260.94	Kg
M <sub>41</sub>	Clarificado	251.93	L
M <sub>42</sub>	Torta de Filtración Filtro	2.55	Kg
M <sub>51</sub>	Colorante en Polvo	15.6	Kg
M <sub>52</sub>	Agua Evaporada	236.33	L