

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y  
Ciencias de la Producción**

**“Reingeniería en el proceso de Congelación de Rodajas de  
Banano en un Túnel de Lecho fluidizado”**

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA DE ALIMENTOS**

Presentada por:

**Mariuxi Elizabeth Riquero Aguirre**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2005**

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo y especialmente a la Ing. Priscila Castillo Directora de Tesis, por su invaluable ayuda

## DEDICATORIA

MIS PADRES

A MIS ABUELOS

A MI HERMANO

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



CIB-ESPOL

Ing. Omar Serrano V.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL  
DELEGADO DEL DECANO DE  
LA FIMCP

Ing. Priscila Castillo S.  
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Ana María Costa V.  
VOCAL



CIB-ESPOL

## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



CIB-ESPOL

---

Mariuxi Elizabeth Riquero Aguirre

## RESUMEN

El proyecto que se propone es el de realizar una reingeniería en una línea de producción de banano congelado en rodajas en un túnel de lecho fluidizado. El producto en mención está dirigido exclusivamente al mercado internacional con exigencias de calidad muy alta y precios competitivos.

Con el fin de cumplir las especificaciones requeridas, es necesario realizar una separación del producto que presenta irregularidades (grumos) posterior al proceso de congelación. Esta separación genera desperdicios cercanos al 15%, lo cual recae sobre los rendimientos de la fruta. Por lo que, es inminente la necesidad de reducir los desperdicios separados luego de la congelación para aumentar el rendimiento y la calidad del producto final, los cuales representan disminuciones en los costos de producción.

El proceso de reingeniería comenzará con el análisis de la situación actual de la línea de producción y la evaluación del diagrama de flujo del proceso para poder determinar las posibles causas del problema de calidad en el producto final. Se empleará la herramienta de calidad “Espina de pescado” donde se

involucra las 5M de los procesos: Maquinarias, Mano de obra, Medio ambiente, Materia prima y Métodos de trabajo. Una vez, determinadas las causas se plantearan acciones correctivas que contribuyan a mejorar la calidad del producto.

Se realizará un estudio del proceso para sugerir mejoras en el manejo de la materia prima, distribución del personal y diseño del túnel de congelación.

Finalmente se determinará los beneficios obtenidos con los cambios propuestos

## INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN .....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS .....	IV
SIMBOLOGIA .....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS .....	VII
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1	
1. GENERALIDADES .....	2
1.1. Definición del producto.....	7
1.2. Descripción del proceso de Elaboración de Rodajas de Banano.....	13
1.3. Planteamiento del problema.....	18
CAPITULO 2	
2. REINGENIERIA .....	20

2.1. Diagrama de Análisis Causa-Efecto aplicado al proceso de de producción.....	20
2.2 Posibles causas que afectan la producción .....	26
2.3. Seguimiento del proceso .....	30
2.4. Acciones correctivas propuestas.....	42
2.4.1. Manejo de Materia Prima .....	42
2.4.2. Redistribución del personal operativo .....	46
2.4.3. Cambios en el diseño del túnel de congelación .....	50
2.5. Validación de las acciones correctivas propuestas .....	59
2.5.1. Determinación de los tiempos de congelación.....	59
2.5.2. Porcentaje de producto irregular (Grumos).....	89
2.5.3. Rendimiento obtenido .....	92

### CAPITULO 3

3. ANALISIS DE RESULTADOS.....	94
3.1. Diagrama de flujo .....	95
3.2. Tiempos de Congelación.....	97
3.3. Estudio de rendimientos.....	98
3.4. Calidad del producto final.....	100

### CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
--	-----

APENDICES

BIBLIOGRAFIA

## ABREVIATURAS

Bi	Número de Biot
°C	Grados centígrados
Cp	Calor específico
Fo	Número de Fourier
h	Horas
hc	Coefficiente convectivo de transferencia de calor
KJ/Kg°C	Kilo joule sobre kilogramo por grado centígrado
Kg/m <sup>3</sup>	Kilogramo por metro cúbico
MP	Materia prima
m	Masa
mm	Milímetros
P	Coefficiente de forma
Pk	Número de Plank
PT	Producto terminado
R	Coefficiente de forma
Ste	Número de Stephan
TA	Temperatura final del producto congelado
TAO	Temperatura de congelación del agua
Ti	Temperatura inicial de la fruta antes de la congelación
tf	Temperatura de placa infinita
Tf	Temperatura inicial de congelación de la fruta
Tα	Temperatura del aire del equipo
UFC	Unidades formadoras de colonias
W/m°K	Watts sobre metro por grados kelvin

## SIMBOLOGÍA

1.1	A	Área transversal
	a	Menor dimensión característica
	$\beta$	Forma elipsoidal
	$\alpha$	Difusividad térmica
	E	Factor de forma
	$\phi$	Diámetro
	$\rho$	Densidad
	$\lambda$	Calor latente
	R	Constante de los gases
	R	Dimensión característica desde el centro a la superficie
	$\nabla$	Volumen
	X <sub>A</sub>	Fracción de agua no congelada
	M <sub>A</sub>	Peso molecular del agua
	m <sub>A</sub>	Contenido de humedad del producto
	M <sub>B</sub>	Peso molecular del producto
	m <sub>B</sub>	Sólidos presentes en el producto
	K	Conductividad térmica
	$\Delta H$	Entalpía

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1	Distribución de las importaciones de banano en el mundo (1998-2002)..... 5
Figura 1.2	Distribución de las exportaciones de banano en el mundo (1998-2002)..... 6
Figura 1.3	Porcentaje de banano no exportable en Ecuador..... 6
Figura 1.4	Diagrama de flujo de la elaboración de rodajas congeladas de banano..... 17
Figura 2.1	Diagrama de análisis causa-efecto en el proceso De rodajas congeladas de banano ..... 23
Figura 2.2	Túnel de congelación de lecho fluidizado ..... 25
Figura 2.3	Vista frontal del túnel de congelación ..... 36
Figura 2.4	Vista lateral del túnel de congelación ..... 37
Figura 2.5	Ingreso de aire 1 al túnel de congelación ..... 39
Figura 2.6	Ingreso de aire 2 al túnel de congelación ..... 39
Figura 2.7	Vista frontal del túnel de congelación (Con los cambios propuestos) ..... 51
Figura 2.8	Vista lateral del túnel de congelación (Con los cambios propuestos) ..... 51
Figura 2.9	Vista frontal de entrada de producto al túnel .. 54
Figura 2.10	Vista frontal de salida de producto del túnel ... 51
Figura 2.11	Formas elipsoidales de un cuerpo ..... 71
Figura 2.12	Medidas y forma de una rodaja de banano..... 76
Figura 2.13	Seguimiento del parámetro de calidad grumos..... 91
Figura 2.14	Incremento en el porcentaje de rendimiento del Producto terminado ..... 93
Figura 3.1	Diagrama de flujo de elaboración de rodajas congeladas De banano (Cambios propuestos) ..... 96
Figura 3.2	Evolución porcentual de los costos de producción ..... 99
Figura 3.3	Seguimiento mensual del parámetro de calidad grumos .. 101
Figura 3.4	Comparación entre un producto que tiene 25% vs. otro de 15% de grumos..... 102

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1	Composición nutricional del banano ..... 9
Tabla 2	Especificación del Producto terminado ..... 11
Tabla 3	Distribución del personal en la línea de producción ..... 33
Tabla 4	Seguimiento de temperaturas del banano en diferentes etapas..... 41
Tabla 5	Validación microbiológica de los métodos de lavado ..... 44
Tabla 6	Determinación de tiempos en el área de pelado ..... 49
Tabla 7	Seguimiento de temperaturas del banano en diferentes etapas (Con los cambios propuestos)..... 57
Tabla 8	Promedio de temperaturas del proceso (Con los cambios propuestos)..... 58
Tabla 9	Coficiente de forma P y R..... 68
Tabla 10	Promedio de temperaturas de proceso ..... 77
Tabla 11	Cálculo de propiedades térmicas del banano..... 87
Tabla 12	Cálculo de números adimensionales..... 88
Tabla 13	Cálculo de tiempo de congelación..... 88

## INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizará una “Reingeniería en el proceso de Congelación de rodajas de banano en un túnel de lecho fluidizado” con la finalidad de mejorar la calidad de acabado del producto final, obtener mejores

rendimientos disminuyendo el porcentaje de desecho de producto fuera de especificación y optimizar la capacidad de producción del túnel de congelación, obteniéndose de esta manera un producto más competitivo en el mercado extranjero donde se comercializa tanto en calidad como en precio.

El producto en mención es elaborado a partir de los desechos no exportables de banano, por lo cual con este proyecto se estaría contribuyendo a aprovechar este recurso poco explotado dándole un valor agregado.

Se realizará el seguimiento del proceso para identificar los problemas que están ocasionando ineficiencias en la línea, para lo cual se empleará la herramienta de calidad “Espina de pescado” para encontrar las posibles causas de estos problemas, una vez identificadas las causas se plantearán acciones correctivas y posteriormente se realizará un nuevo seguimiento para determinar si los cambios implantados en la línea están generando los resultados deseados.

# CAPITULO 1

## 1. GENERALIDADES

El banano es una fruta originaria del sur del Asia. A partir de 1940, comenzó a cultivarse a gran escala en nuestro país y con el tiempo su exportación se convirtió en la principal fuente generadora de divisas para el estado ecuatoriano. Inversionistas nacionales e internacionales han dirigido recursos al sector para ubicarlo entre los más importantes generadores de divisas, en el contexto de la Producción agrícola.

La producción total de banano en el país es generada por ecuatorianos y la comercialización de la fruta es realizada por compañías nacionales en un 70%. En las plantaciones se ocupan directa e indirectamente a 383.000 personas aproximadamente, lo cual implica que se benefician 1'915.000 ecuatorianos considerando familias conformadas por cinco miembros (1).

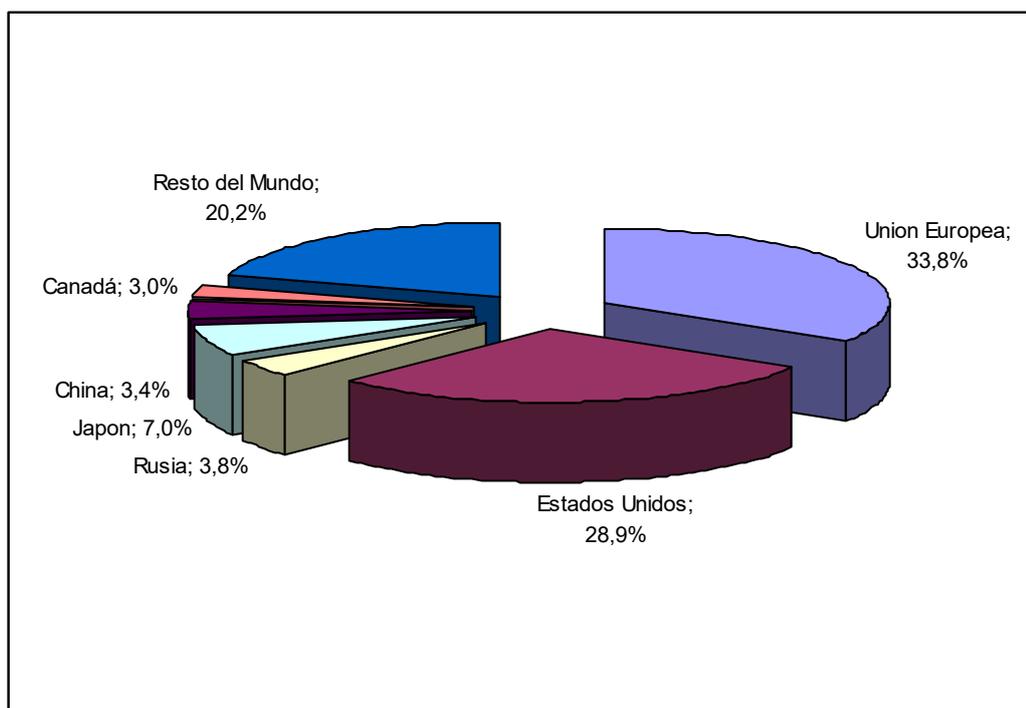
Año a año se incrementa el consumo de esta fruta especialmente en países Europeos y en Estados Unidos; en la figura 1.1 se puede observar el porcentaje de participación de estos países, razón por la cual es importante darle una mayor utilidad y valor agregado a esta fruta tan acogida en el mercado internacional. La participación de Ecuador de las exportaciones de banano en el mercado mundial es del 28% tal como se aprecia en la figura 1.2.

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) la demanda por importaciones de Banano determina un aumento del 1.9% anual, implicando que la demanda total será de 12.8 millones de TM para este año (2005), mientras que la oferta mundial de la fruta tenderá a crecer en un 2.2% anual, alcanzando un volumen de 13.7 millones de TM. Ecuador ha proyectado crecer el volumen de producción de Banano en un 3.8%. Con estas proyecciones la FAO ha estimado que para el 2005 habría una sobreoferta de Banano en el mercado y que el mecanismo para el ajuste de este el mercado es vía precios y calidad (5).

Considerando lo anteriormente mencionado y que el porcentaje de banano no exportable representa en el Ecuador, aproximadamente el 17% de la producción anual, como se puede apreciar en la figura 1.3, y el cual es destinado principalmente a alimentación animal (6), es importante tratar de aprovechar al máximo la utilización de esta fruta no exportable buscando nuevas alternativas de usos o incrementando la producción y exportación de los ya existentes (puré de banano, rodajas de banano congeladas, harinas, flakes ).

Con el objetivo de aprovechar los excedentes de Banano esta tesis propone un proyecto de reingeniería con el que se busca mejorar la calidad de un producto ya existente a base de estos excedentes, como lo son las rodajas congeladas de banano, con la finalidad de que este producto sea más competitivo en el mercado extranjero donde se comercializa actualmente.

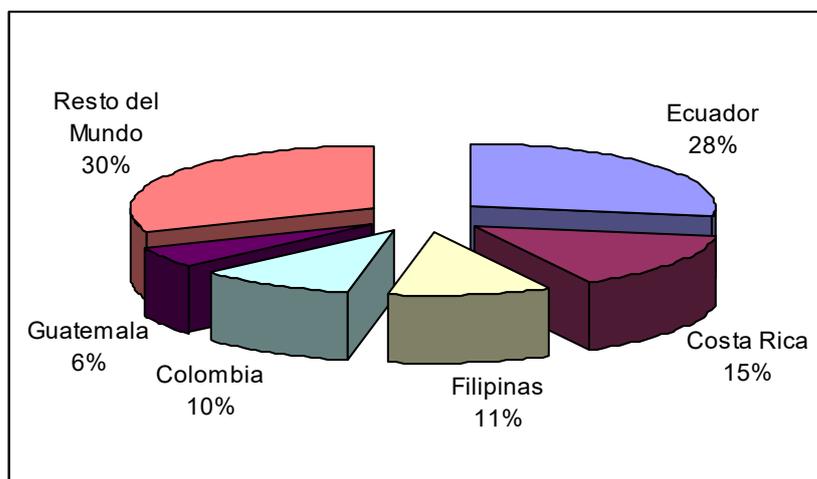
**FIGURA 1.1**  
**DISTRIBUCIÓN DE LAS IMPORTACIONES DE BANANO EN EL MUNDO (1998-2002)**



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

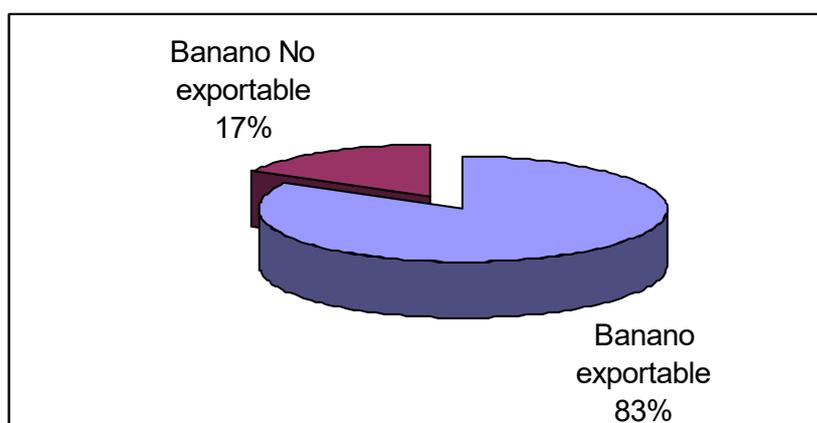
**FUENTE:** FAO, 2002 (7)

**FIGURA 1.2**  
**DISTRIBUCIÓN DE LAS EXPORTACIONES DE BANANO EN EL**  
**MUNDO (1998-2002)**



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.  
**FUENTE:** FAO, 2002 (7)

**FIGURA 1.3**  
**PORCENTAJE DE BANANO NO EXPORTABLE EN ECUADOR (2004)**



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.  
**FUENTE:** FUNDACYT, 2004, (8)

## 1.1 Definición del Producto

- **Materia prima**

La materia prima utilizada para la elaboración de Rodajas congeladas de banano es el excedente de banano no exportable, la variedad que principalmente se produce y comercializa en el Ecuador es del tipo CAVENDISH, variedad utilizada en este proceso.

El banano es una fruta que aporta con muchas propiedades nutricionales a la dieta alimenticia, es una fruta rica en carbohidratos y fibra, especialmente de un tipo llamado "FOS" (fructo-oligosacáridos). Los FOS son un tipo de carbohidratos no digeribles que apoyan al crecimiento de bacterias beneficiosas en el colon, por lo cual es un alimento muy digestivo que favorece la secreción de jugos gástricos, razón por lo que es empleado en las dietas de personas afectadas por trastornos intestinales y en los niños de corta edad.

El banano tiene un elevado valor energético, aproximadamente 85 Kcal. /100 g, siendo además una importante fuente de vitaminas B y C, tanto como el tomate o la naranja. En su composición también contiene numerosos minerales entre los que destacan el hierro,

fósforo, calcio y potasio, este último se encuentra presente en altas cantidades (9). El banano contiene también unas sustancias llamadas taninos, que tienen interesantes propiedades con acción astringente.

En la TABLA. 1 se puede observar la composición nutricional del banano basado en 100 gr. de muestra.

**TABLA 1**  
**COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL BANANO**

<b>Agua (g)</b>		75.7
<b>Proteínas(g)</b>		1.1
<b>Lípidos (g)</b>		0.2
<b>Carbohidratos</b>	Total	22.2
	Fibras	0.6
<b>Vitaminas</b>	A (IU)	190
	C (mg)	10
	B1	0.05
	B2	0.06
	B6	0.32
<b>Otros componentes orgánicos</b>	Ácido málico (mg)	500
	Ácido cítrico (mg)	150
	Ácido oxálico (mg)	6.2
<b>Sales Minerales</b>	Potasio (mg)	420
	Calcio (mg)	8
	Magnesio (mg)	31
	Fósforo (mg)	28
	Cloro (mg)	125
	Sodio (mg)	1
	Hierro (mg)	0.7
	Azufre (mg)	12
<b>Calorías</b>		85

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

**FUENTE:** 9. WWW 5, 2005

- **Producto Terminado**

El nombre del producto es Rodajas congeladas de banano, la venta de este producto esta dirigida exclusivamente al mercado internacional, a países como Estados Unidos, Alemania, entre otros donde ya se

comercializa en la actualidad y donde los requerimientos de calidad son muy exigentes.

Las rodajas congeladas de banano son empacadas en fundas de polietileno que se encuentran dentro de una caja de cartón corrugado. Las presentaciones pueden ser en cajas de 10 kg. y 13.7 kg. que es como son comercializadas a los diferentes clientes en el extranjero.

El producto esta destinado al consumo directo para todo tipo de personas y es utilizado en la preparación en ensaladas de frutas, jugos, batidos, yogurt y otros.

El producto Rodajas congeladas de banano presenta la siguiente especificación como producto terminado como se aprecia en la TABLA 2.

**TABLA 2**  
**ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO TERMINADO**  
**“RODAJAS CONGELADAS DE BANANO”**

<b>PARAMETRO</b>	<b>ESPECIFICACIÓN</b>
<b>Brix</b>	19 - 21
<b>Acidez (%Ac. Cítrico)</b>	0.2 – 0.4
<b>Ph</b>	4.2 – 5.0
<b>Color</b>	Crema amarillento
<b>L :</b>	65 – 70
<b>a:</b>	2.0 – 4.0
<b>b:</b>	19 - 21
<b>% Grumos</b>	25 %
<b>% Restos</b>	5 %
<b>% Rodajas Regulares</b>	70 %
<b>Espesor de Rodajas</b>	10 mm
<b>Condiciones de Almacenamiento</b>	Mantener en cámara de congelación a $-18^{\circ}\text{C}$ . El tiempo de vida útil del producto es de 1 año sin abrir y bajo estas condiciones de temperatura

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

**FUENTE:** Agrícola Oficial, 2004

En la TABLA 2 se hace referencia a varios parámetros de control que son explicados a continuación:

- El grado Brix indica el estado de madurez de la fruta, este valor es determinado a través de un refractómetro que mide el porcentaje de sólidos solubles presentes en el producto (azúcares).
- El pH es un valor que se usa para indicar la acidez o alcalinidad de una sustancia. La escala de pH es una escala logarítmica de crecimiento exponencial. Oscila entre los valores de 0 (más ácido) y 14 (más básico), 7 es Neutro. El "factor pH" se define como el potencial de Hidrógeno calculado como el logaritmo de la actividad o concentración molar de los iones Hidrógeno.
- La Acidez indica el contenido de iones hidrógeno de una solución, que se expresa por un valor en la escala del PH. Una solución es ácida si la concentración de hidrogeniones ( $H^+$ ) es mayor que la de iones hidroxilo (OH).
- El color de la fruta es medido por los valores L, a y b que indican el nivel de oscurecimiento o pardeamiento que ocurren en la fruta al ser procesada hasta obtener el producto terminado, la lectura de estos valores es realizada por medio del equipo Colorímetro Hunter

que da la lecturas automáticas, los valores en la lectura son comparados con el estándar de la fruta en estado fresco.

- El porcentaje grumos presente en el producto final es un parámetro físico de control mediante el cual se mide la calidad en el acabado del producto terminado, este es el principal punto de control exigido por los clientes.
- El porcentaje de restos es otro parámetro físico de control que se realiza en el producto terminado y en el cual se mide la presencia de pedazos de fruta con tamaño por debajo del estándar.

## **1.2 Descripción del Proceso de Elaboración**

En el proceso de elaboración de Rodajas de Banano congeladas que se presenta en la figura 1.4 se resaltan las etapas que se describen a continuación:

### **RECEPCION DE MATERIA PRIMA Y MADURACIÓN**

Previo al proceso productivo, se realiza en días anteriores la recepción de la fruta en la planta, esta es descargada en bins

(Recipientes de plásticos utilizados para almacenar fruta, tiene una capacidad de 300 Kg. ) por los operadores, aquí los racimos de banano son seleccionados y clasificados sacando aquellos que estén partidos, con defecto de teléfono (banano muy curvo) o bananos pegados en dos, luego de esto la fruta es ingresada a las cámaras de maduración donde es gaseada con etileno para acelerar el proceso de maduración, esta etapa dura entre 5 - 7 días. Transcurrido este tiempo la fruta alcanza la madurez necesaria y el Brix adecuado para ser procesada y cumplir las siguientes etapas que se aprecian en la figura 1.4.

**LAVADO 1:** En esta etapa la fruta es volteada y sumergida dentro de una tina que contiene agua con Hipoclorito de sodio, esta solución es empleada para desinfectar la fruta.

**LAVADO 2:** Luego que la fruta sale de la primera tina es transportada por un elevador hacia la segunda tina donde recibe un segundo lavado o enjuague con agua para eliminar cualquier resto químico que haya quedado del primer lavado.

**PELADO:** Una vez que la fruta esta limpia ingresa al área de proceso por medio de bandas transportadoras donde los operadores proceden

a pelar la fruta y eliminar los desechos principalmente cáscaras, que representan entre 32-34% ( $D_1$ ) del peso total de la fruta.

**MAQUILLAJE Y CORTE:** En esta etapa se procede a cortar las puntas de ambos lados del banano y cualquier mancha adherida a la fruta, el porcentaje de desechos en esta etapa esta entre 2-4% ( $D_2$ ), luego de este maquillaje la fruta pasa por la cortadora que le da la forma de rodaja.

**INMERSIÓN:** Las rodajas se sumergen dentro de una tina pequeña que contiene una solución de Ácido Cítrico y Ácido Ascórbico para evitar reacciones enzimaticas de pardeamiento en la fruta.

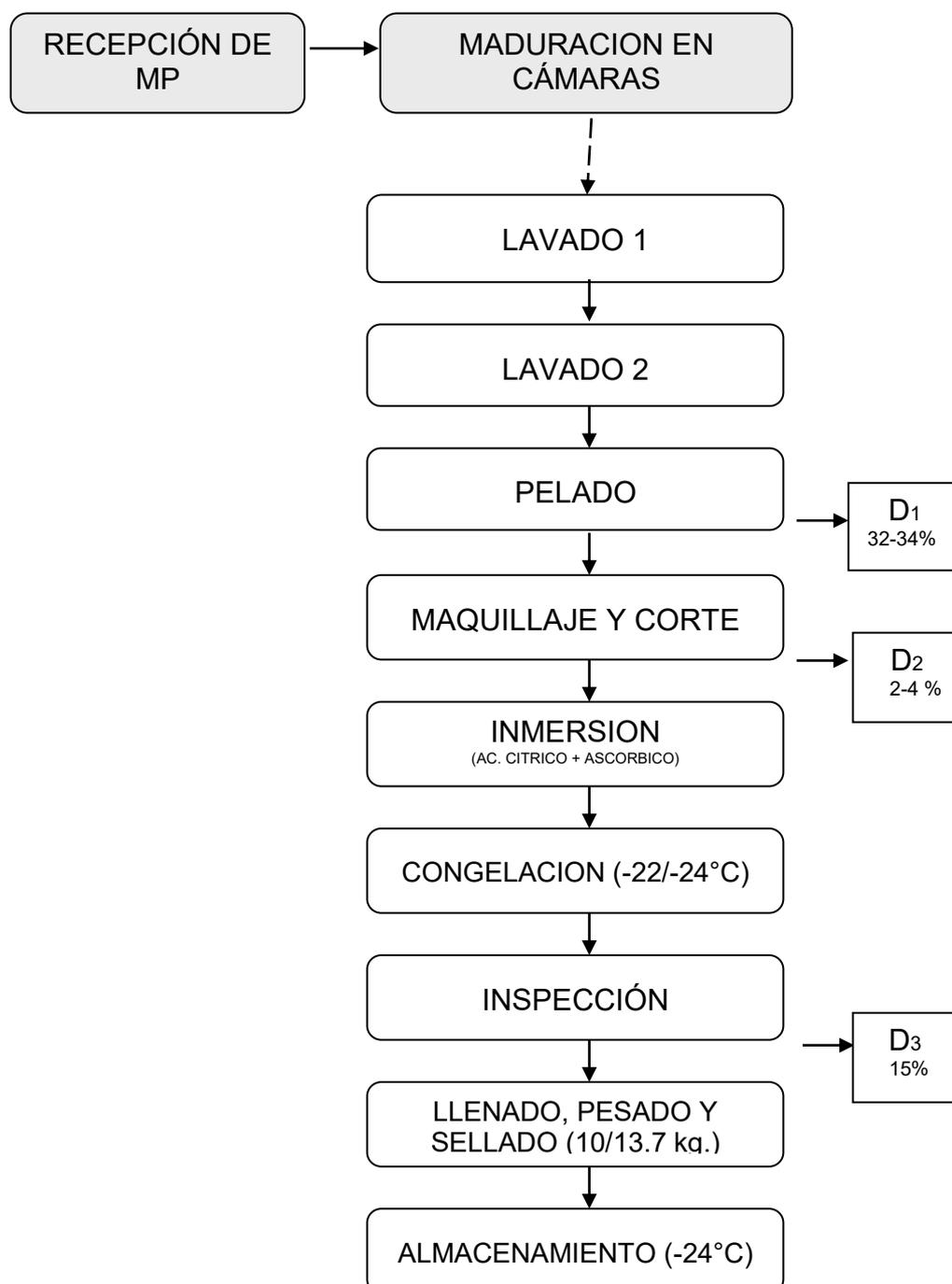
**CONGELACIÓN:** La congelación de las rodajas se realiza en un túnel de congelación de lecho fluidizado donde las rodajas son congeladas individualmente al entrar en contacto con corrientes de aire a bajas temperaturas ( $-24/-26^{\circ}\text{C}$ ) y altas velocidades. El aire a alta velocidad cruza verticalmente a través de dos placas con agujeros que están en constante movimiento y permiten el desplazamiento del producto a través del sistema. (4)

**INSPECCIÓN:** El producto congelado que sale del túnel es inspeccionado por operadores al pasar a través de una banda

transportadora donde se procede a sacar el producto que no cumpla con las especificaciones previamente mencionadas. El parámetro de control más importante en esta etapa es la presencia de grumos, donde su máximo permisible es de 25% en el producto terminado. El porcentaje de desecho de producto con grumos (D<sub>3</sub>) en esta etapa es equivalente al 15%.

**LLENADO, PESADO Y SELLADO:** El producto ya inspeccionado es empacado en cajas de cartón con fundas de polietileno, pesado, sellado y posteriormente almacenado en cámara a  $-24^{\circ}\text{C}$  hasta su posterior despacho.

**FIGURA 1.4**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE LA ELABORACIÓN DE RODAJAS**  
**CONGELADAS DE BANANO**



### 1.3 Planteamiento del problema

Con el fin de cumplir las especificaciones requeridas en el producto terminado, es necesario realizar una separación del producto que presenta problemas de calidad en cuanto a su acabado, debido a la formación de grumos en la superficie externa de las rodajas luego de que el producto sale del túnel de congelación. Como consecuencia de la formación de estos grumos, durante la etapa de inspección del producto final aproximadamente un 15% del producto es desechado; debido a estas pérdidas los rendimientos del producto terminado son bajos (41- 43%) comparados con el estándar de 51-53%.

Adicional a lo anteriormente mencionado el túnel de congelación no está trabajando óptimamente, por lo que la eficiencia de producción se encuentran por debajo de la capacidad de diseño del equipo. Todo esto recae sobre los costos operativos influyendo directamente sobre el precio del producto final.

Considerando que una de las características más importantes evaluada por los clientes es el acabado del producto terminado y sus

precios, se plantea realizar una reingeniería en la línea de producción de rodajas de banano congelado con la finalidad de obtener un proceso con la mayor eficiencia y el menor desecho posible, junto con un producto que este acorde a las exigencias del mercado internacional tanto en calidad como en precio.

# CAPITULO 2

## 2. REINGENIERIA

La Reingeniería es un método mediante el cual se rediseñan fundamentalmente los procesos de principio a fin, empleando toda la tecnología y recursos organizacionales disponibles, orientados por las necesidades y especificaciones del cliente, para alcanzar mejoras espectaculares en medida críticas y contemporáneas de rendimiento, tales como costo, calidad, servicio y rapidez (6)

### 2.1 Diagrama de Análisis Causa – Efecto aplicado al proceso de producción.

La herramienta que se empleara para analizar cada uno de los problemas que se han generado en la línea de producción de rollos congelados de banano es la Espina de Pescado o Diagrama de Causa-Efecto.

El Diagrama Causa - Efecto, es una herramienta que ayuda a identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de características de calidad. Ilustra gráficamente las relaciones existentes entre un resultado dado (efectos) y los factores (causas) que influyen en ese resultado.

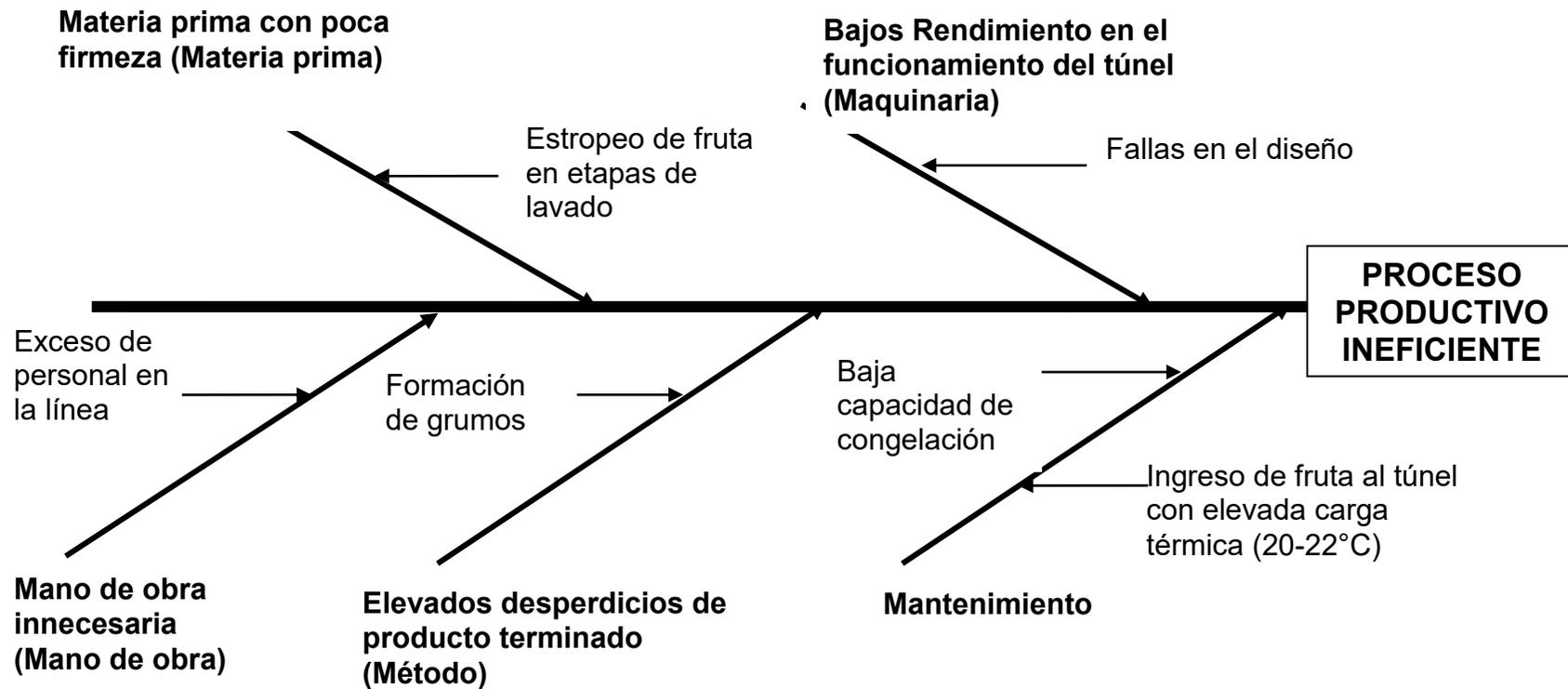
En virtud de los problemas anteriormente mencionados en cuanto a calidad de producto, bajos rendimientos y baja eficiencia del túnel de congelación en la línea de elaboración de rodajas congeladas de banano se procederá a realizar un análisis de cada uno de estos problemas encontrados en la línea para determinar las causas y así posteriormente plantear acciones correctivas. Para ello se empleara el diagrama de Análisis CAUSA-EFECTO donde el problema principal son las ineficiencias presentadas en la línea de producción.

Al realizar el análisis causa-efecto que se muestra en la figura 2.1, se plantea como problema principal que la línea de producción esta funcionando ineficientemente. Este análisis de espina de pescado se elaboró tomando en consideración las 5 M involucradas en los procesos productivos esto es:

- ✓ Mano de Obra
- ✓ Mantenimiento
- ✓ Materiales (Materia prima)
- ✓ Medio
- ✓ Métodos

Las 5M involucradas con el proceso de elaboración de rodajas congeladas de banano, que causan ineficiencias en la línea se describen en la figura 2.1

**FIGURA 2.1**  
**DIAGRAMA DE ANÁLISIS CAUSA-EFECTO**



ELABORADO POR: Mariuxi Riquero A.

De acuerdo a los problemas mencionados en la figura 2.1, a continuación se realizara un análisis individual de cada uno de ellos para determinar las causas que generan estos problemas.

Previo al análisis de las causas mencionadas en el diagrama CAUSA-EFECTO se realizara una explicación del funcionamiento del túnel de congelación y sus partes, en virtud que una parte del análisis se enfoca en este equipo.

- **Funcionamiento del Túnel de Congelación:**

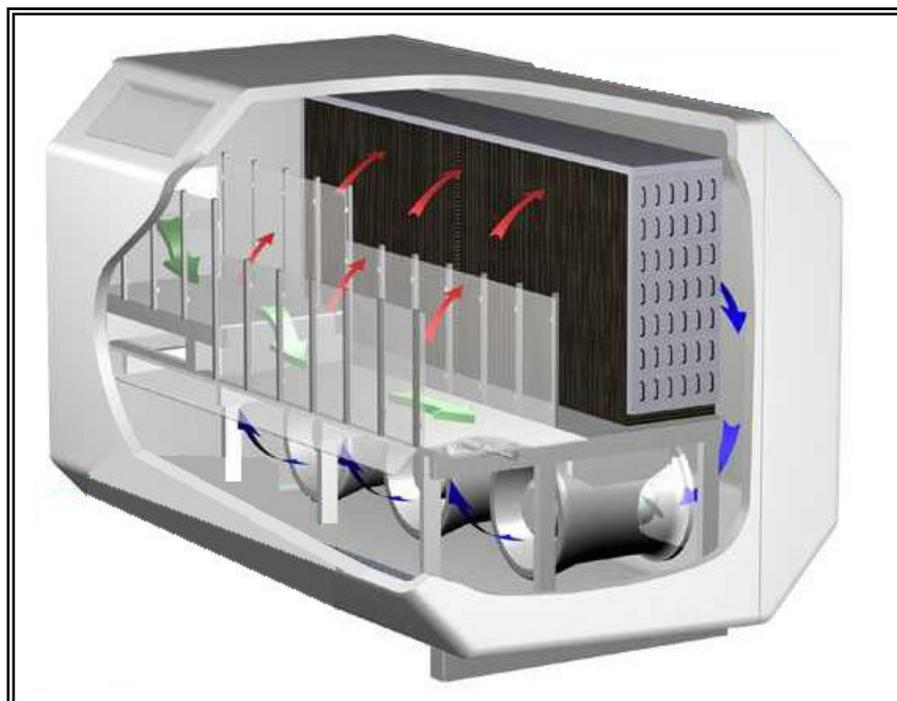
El equipo de congelación es un sistema de lecho fluidizado, que consiste en la utilización de corrientes de aire a bajas temperaturas y altas velocidades que se inyecta verticalmente hacia arriba a través de dos placas con agujeros, que en movimiento constante mueven el producto a través del sistema.

La velocidad del aire se ajusta dependiendo del tamaño del producto, este se mantiene suspendido en la superficie de las placas mediante el aire a baja temperatura. Aunque el flujo de aire no permite mantener el producto en suspensión durante todo el proceso.

En la figura 2.2 se puede apreciar el túnel de congelación y sus partes, entre las que destacan sus componentes básicos:

- Sistema de Evaporación
- Tres ventiladores
- Cilindros de inyección de aire que dan movimiento a las placas
- Dos placas con varias perforaciones

**FIGURA 2.2**  
**TUNEL DE CONGELACIÓN DE LECHO FLUIDIZADO**



**FUENTE:** 11. www. 7. 2005

## **2.2 Posibles causas que afectan la producción**

En el análisis causa-efecto de la figura 2.1 se muestra las posibles causas que están ocasionando que el proceso productivo sea ineficiente, estas causas engloban tres problemas específicos en función de los cuales se realizara los siguientes análisis con la finalidad de conocer de una manera más explícita cuales son los problemas que se están produciendo en la línea, estos análisis son:

- a) Análisis de baja calidad en el producto terminado
- b) Análisis de costos operativos adicionales
- c) Análisis de bajo rendimiento en el producto terminado

### **A. Análisis de Baja calidad en el Producto Terminado**

La baja calidad en el producto terminado se determina o evalúa por la presencia de grumos sobre la superficie de las rodajas de banano luego de la etapa de congelación. Al observar la etapa de congelación se puede ver que la formación de estos grumos se debe al desprendimiento de pequeñas partículas de banano las cuales se adhieren a las rodajas durante el proceso de congelación en el túnel. Este desprendimiento se debe a la

perdida de firmeza de la fruta durante su trayectoria antes de la congelación donde sufre golpes en algunas etapas previas.

La pérdida de firmeza y desprendimiento de fruta ocasiona además el taponamiento de los orificios de las placa de congelación (3 mm de  $\phi$ ) cuando la fruta ingresa al interior del túnel, impidiendo la correcta circulación de aire a través de los mismos. Los taponamientos de los orificios de las placas impiden la circulación del aire frío no permitiendo la congelación total del producto generándose paradas no programadas en la línea de producción y por consiguiente reprocesos.

#### **B. Análisis de los costos operativos adicionales**

Los costos operativos en el proceso de elaboración de Rodajas de congeladas de banano se ven influenciados directamente por:

- 1) Mano de obra utilizada en el proceso
- 2) Costos generados por paradas de línea y baja eficiencia de producción del equipo.

## **Descripción de las causas**

### **1) Mano de Obra**

Durante el proceso se observa que la cantidad de fruta que ingresa al túnel de congelación es mayor que la capacidad de procesamiento de este, esto trae como consecuencia que el producto salga descongelado del túnel y se tenga que reprocesar ocasionando la parada de la línea y la generación de tiempos improductivos en el proceso.

Este problema se observo que se genera por tener más personas de las necesarias específicamente en el área de pelado que es la etapa donde se requiere de mayor movimiento y habilidad por parte de los operarios y es la etapa que determina los tiempos y kilos de producto procesado.

Se observa también que en otras áreas de la línea de producción hay asignado más personal del requerido para realizar esas actividades.

## **2) Eficiencia del Equipo**

Un segundo factor que influye en los costos operativos es la capacidad de producción del túnel de Congelación. El equipo en la actualidad esta procesando con una eficiencia aproximada del 70%, por lo que los kilos obtenidos de producto terminado es menor. Las temperaturas en el interior del túnel de congelación oscilan entre los  $-22$  y  $-24$  °C lo que también contribuye a no poder incrementar los volúmenes de producción ya que la temperatura mínima para un producto congelado es de  $-18$ °C.

### **C. Análisis de los bajos rendimientos en el producto terminado**

Los bajos rendimiento de producto terminado se generan al desechar producto con presencia de grumos ( $D_3 = 15\%$ ) luego de la etapa de congelación, donde posterior a esta etapa se realiza una inspección del producto congelado para garantizar que el producto terminado se encuentre dentro de especificación en los parámetros de defectos de calidad.

## **2.3 Seguimiento del Proceso**

En esta parte se realizará el seguimiento del proceso productivo para encontrar las posibles causas que generan los problemas anteriormente descritos para posteriormente poder tomar acciones correctivas efectivas que puedan contribuir a corregir dichos problemas. La determinación de las causas se enfocará en la: baja calidad en el producto terminado, y los costos operativos adicionales, las mejoras obtenidas en estos dos puntos repercutirán directamente en los rendimientos del producto terminado razón por la cual el análisis de causas solo se enfocarán en estos puntos.

### **A. Baja calidad en el Producto Terminado**

En virtud de los problemas analizados anteriormente se procederá a analizar el proceso de elaboración para determinar en que etapas la fruta sufre mayores daños por golpes durante su recorrido y poder tomar acciones correctivas.

Al realizar un análisis del proceso de producción in situ se observa lo siguiente:

- Durante el primer lavado de la fruta (Etapa 1) se observa que en el momento que el bin que contiene la fruta es volteado sobre la tina de lavado esta recibe un gran impacto al caer sobre la tina desde una altura aproximada de 70 cm.
- Durante la segunda etapa de lavado ocurre algo muy similar a lo anterior, la fruta que sale de la primera tina es transportada a través de un elevador donde desde la parte superior el banano cae e ingresa a la tina de enjuague, recibiendo un segundo impacto desde una altura mucho mayor, aproximadamente 90 cm.
- Durante ambos lavados aparte de los golpes que sufre la fruta se puede observar otro factor muy importante que contribuye a la pérdida de firmeza de la fruta, que es el tiempo prolongado de permanencia del banano en las tinas de lavado, se puede ver que una vez que la fruta es volteada en la primera tina y luego a la segunda el tiempo total de permanencia del banano en contacto con el agua es entre 10-15 minutos antes de que ingrese al área de proceso, esto

provoca la hidratación de la fruta ablandándola y acelerando reacciones enzimáticas de oxidación en el banano.

Estas dos etapas de lavado en el proceso son las que mayormente contribuyen a la pérdida de firmeza de la fruta junto con el tiempo de permanencia del banano en el agua.

## **B. Costos operativos adicionales**

### **1) Mano de Obra**

Para determinar si el proceso cuenta con el número de personas adecuadas en todas las etapas del proceso se observará como trabaja la línea con el número de personas en la actualidad.

Se observó el proceso y se contabilizó un total de 44 personas en la línea de producción, las cuales se encuentran distribuidas en tres áreas: área de volteo, área de proceso y área de empaque. En la TABLA 3 se aprecia que actividades se realiza en cada área y el número de personas asignadas a cada una de esas actividades.

**TABLA 3**  
**DISTRIBUCIÓN DEL PERSONAL EN LA LINEA DE PRODUCCIÓN**

<b>AREA DE VOLTEO:</b>	<b>DOTACION ASIGNADA</b>
<b>Volqueta y Montacargas</b>	2
<b>Tina de volteo</b>	4
<b>Limpieza</b>	2
<b>Banda (extremos)</b>	2
<b>AREA DE PROCESO:</b>	
<b>Peladores</b>	10
<b>Maquilladores (pelado)</b>	6
<b>Maquilladoras (banda)</b>	4
<b>Corte (moldes)</b>	4
<b>Maquilladora (antes de tina)</b>	2
<b>Operador de Túnel</b>	1
<b>AREA DE EMPAQUE:</b>	
<b>Inspección</b>	4
<b>Recepción de PT, Pesaje. Y sellado</b>	3
<b>Cámaras</b>	1

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

## 2) Eficiencia del Equipo

El segundo factor que influye en los costos operacionales es la eficiencia de producción del túnel de congelación. La eficiencia del equipo se mide por los kilos/horas de producto procesado, el mismo que va a depender del tiempo que tarda el producto en congelarse dentro del túnel de congelación.

Existen varios factores que afectan el tiempo de congelación de un producto, estos factores son (4):

- Temperatura del medio de Congelación
- Tamaño del producto a congelar
- Coeficiente de transmisión de calor por convección
- Temperatura inicial y final del producto
- Propiedades térmicas del producto

De los factores mencionados los que pueden ser modificados para optimizar los tiempos de congelación son el coeficiente de transferencia de calor y la temperatura inicial del producto, el tamaño ya está definido por la

especificación del producto, la temperatura final del producto también esta establecida y las propiedades térmicas de la fruta dependerán de su composición nutricional. En base a lo antes mencionado se realizara un análisis enfocado a mejorar estos dos puntos:

- **Coefficiente de Transferencia de calor por convección.**

El parámetro que más influye en el tiempo de congelación es el coeficiente de transferencia de calor por convección  $h_c$ . Este parámetro puede utilizarse para variar los tiempos de congelación mediante modificaciones en el diseño del equipo (4), por lo que se procederá a estudiar el funcionamiento del Túnel de congelación para determinar que variables están afectando en el coeficiente de transferencia de calor.

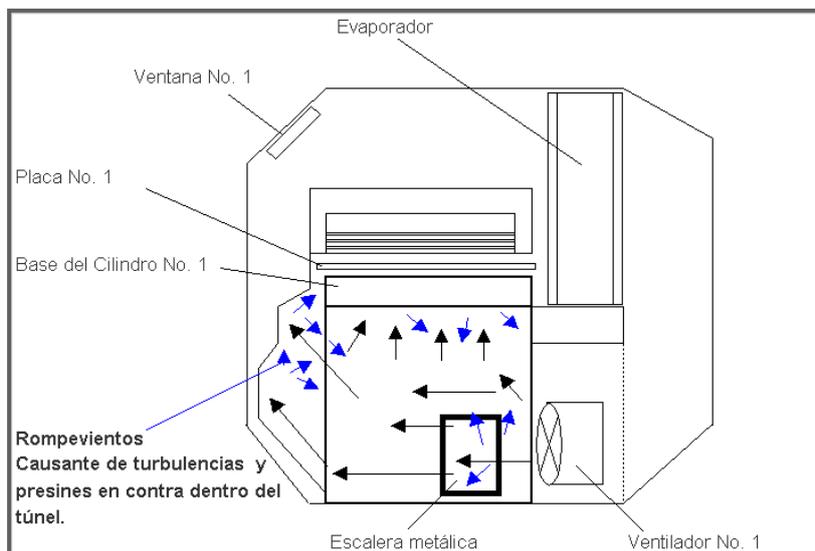
Al observar el funcionamiento del equipo se puede ver la circulación de aire en el interior del túnel es con turbulencia y desviaciones (ver figura 2.3 y 2.4), esto ocasiona que el fluido de aire a través de las placas de

congelación sea menos fuerte y por ende la congelación del producto va a tardar más tiempo.

En las figuras 2.3 Y 2.4 se puede observar que existe un espacio libre antes de llegar a la pared del túnel de congelación, por este espacio se desvía una parte del aire. En ambos gráficos se trata esquematizar como es la distribución y circulación de aire en el interior del túnel.

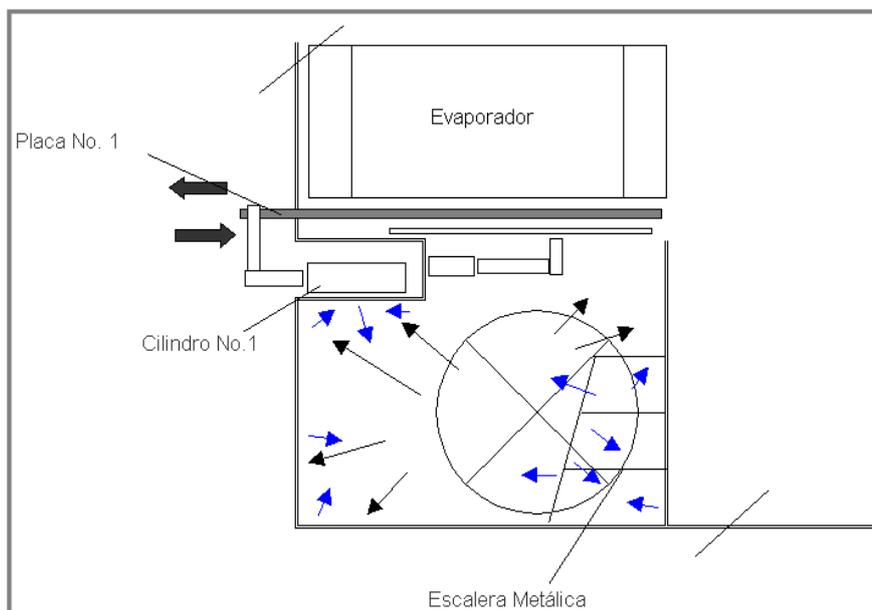
### GRAFICO 2.3

#### VISTA FRONTAL DEL TUNEL DE CONGELACIÓN



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

**GRAFICO 2.4**  
**VISTA LATERAL DEL TUNEL DE CONGELACIÓN**



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

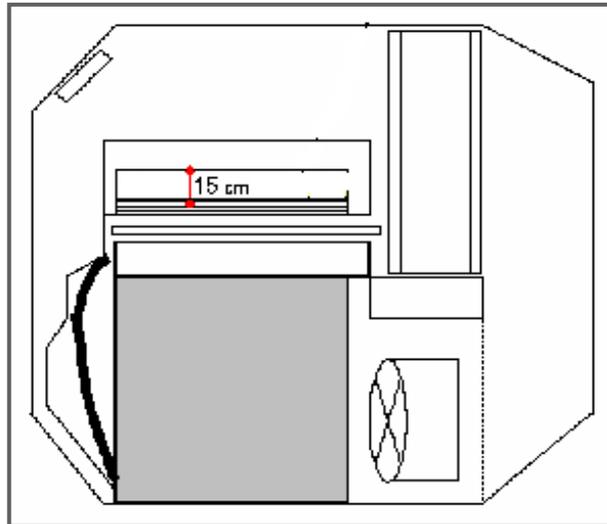
Situación similar a la anterior ocurre en el área debajo de los cilindros que dan movimiento a las placas perforadas por donde atraviesa el aire que congela el producto, este espacio también contribuye a la desviación del aire como se muestra en la figura 2.4.

Como parte de su diseño el equipo viene provisto de dos escaleras que están ubicadas en el interior del túnel y que son utilizadas para facilitar el ingreso del operador

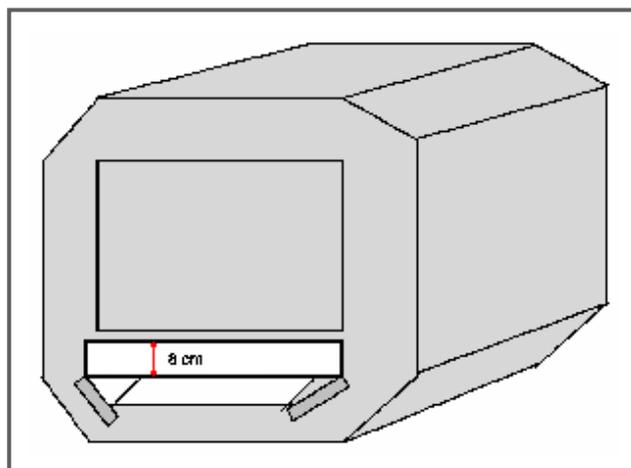
al interior del equipo en el momento de su limpieza, estas escaleras no cumplen ninguna otra función.

Como se puede apreciar en ambas figuras 2.3 y 2.4 las escaleras al estar ubicadas frente a los ventiladores obstaculiza el flujo normal de aire causando desviación del mismo en diferentes direcciones.

Otro punto que contribuye a disminuir la eficiencia de trabajo del equipo es el ingreso de aire a mayor temperatura (22-24°C) al interior del túnel de congelación (Ver figura 2.5), esta entrada de aire caliente se da tanto en el área de ingreso de las rodajas de banano al túnel y a la salida de las mismas como producto terminado, este aire caliente ocasiona variaciones de temperaturas durante el proceso de congelación además de acelerar el proceso de formación de escarcha en el evaporador con el pasar de las horas, es así que luego de 6-7 horas de haber arrancado la línea de producción se tiene que realizar el proceso de DEFROST (descongelamiento del túnel de Congelación), ocasionando la parada de la línea y haciendo menos eficiente el equipo.

**FIGURA 2.5****INGRESO DE AIRE 1 AL TUNEL DE CONGELACIÓN**

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

**FIGURA 2.6****INGRESO DE AIRE 2 AL TUNEL DE CONGELACIÓN**

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

- **Temperatura inicial del producto**

El segundo factor anteriormente mencionado que influye sobre los tiempos de congelación y por ende en la eficiencia del equipo es la temperatura de ingreso de la fruta al túnel de congelación, al medir este parámetro con la ayuda del termómetro láser se pudo evidenciar que la temperatura de ingreso de la fruta esta entre 20-22°C contribuyendo a aumentar el tiempo de permanencia de la fruta en el equipo.

Se realizo el seguimiento de las temperaturas de la fruta durante su recorrido desde la cámara de almacenamiento hasta su salida del túnel de congelación como producto terminado.

En la TABLA 4 se aprecia los resultados del monitoreo de temperaturas de la fruta durante su trayectoria.

**TABLA 4****SEGUIMIENTO DE TEMPERATURAS DEL BANANO EN DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO**

<b>Etapa de monitoreo de Temperatura (°C)</b>	<b>Arranque</b>	<b>1h</b>	<b>2h</b>	<b>3h</b>	<b>4h</b>	<b>5h</b>	<b>6h</b>
MP en Cámaras	13-15	14-15	14-15	13-15	14-16	13-15	14-15
Fruta después de lavado 1 y 2	20-21	19-20	20-21	20-21	19-21	20-22	21-22
Rodajas antes de inmersión en tina	20-22	20-21	20-22	20-22	21-22	21-22	22/23
Temperatura del agua de la tina de inmersión	22	23	22	25	24	23	25
Rodajas después de la tina de inmersión.	20-22	20-22	20-22	21-22	21-23	21-22	22-23
Temperatura del túnel de congelación.	-26	-24	-24	-25	-24	-24	-25
Rodajas a la salida del túnel.	-20/-21	-20/-21	-20/-21	-21/-22	-20/-21	-20/-21	-19/-20
Temperatura del área de proceso	22	25	24	25	25	24	24

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

## **2.4 Acciones correctivas propuestas**

Luego de haber hecho el análisis del proceso y haber observado el funcionamiento de la línea de producción y del equipo de congelación se llega a la conclusión que los tres principales problemas encontrados que influyen directamente sobre la productividad de la línea son:

- Manejo no adecuado de la Materia Prima
- Distribución no adecuada y exceso de personas en las diferentes etapas del proceso en especial en la etapa de pelado.
- Fallas en el diseño del equipo que influyen en su eficiencia y el ingreso de fruta al túnel con temperaturas altas (20-22°C) que aumentan los tiempos de congelación.

Las acciones correctivas a tomar van encaminadas a eliminar estos tres problemas.

### **2.4.1 Manejo de Materia prima**

Luego de haber realizado el análisis, se concluye que las etapas que mayormente contribuyen a la pérdida de

firmeza de la fruta son: las etapas de lavado y el tiempo de permanencia de la fruta en contacto con el agua.

Las acciones correctivas a tomar van encaminadas a utilizar un método diferente de lavado, el nuevo método consiste en el lavado de la fruta por medio de mangueras provistas con aspersores por medio de los cuales la fruta es rociada con agua hasta eliminar la suciedad para que este apta para ser procesada.

Al realizar el lavado de la manera propuesta se evita que la fruta sufra más golpes al ser volteada en las tinas y no permanezca sumergida en agua por un período prolongado de tiempo evitándose la hidratación y por ende la pérdida de firmeza de la fruta.

La desinfección de la fruta no se ve afectada por cuanto los niveles de concentración de Hipoclorito de Sodio se mantienen en esta nueva forma de lavado de la fruta.

Para garantizar que el nuevo proceso de lavado no afecte la calidad microbiológica del producto final se realizó una validación del lavado comparando ambos métodos como lo indica la TABLA 5 donde se aprecia que tanto la Materia prima y el producto terminado se encuentran de los parámetros permitidos. Los valores obtenidos fueron ligeramente mayores no mostrándose una diferencia significativa que con el método anterior.

**TABLA 5**  
**VALIDACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LOS MÉTODOS DE LAVADO**  
**DEL BANANO**

Tipo de Lavado	Coliformes (UFC)	Aeróbios (UFC)	Mohos y Levaduras	Enterobacterias
MP Cáscara (Tinas)	510	770	350	640
MP Cáscara (Aspersores)	670	790	370	690
<b>Estándar Microbiológico</b>	<b>1000</b>	<b>10000</b>	<b>2500</b>	<b>1000</b>
PT (Tinas)	450	620	120	360
PT (Aspersores)	510	670	180	400

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

Cabe mencionar que los resultados microbiológicos tanto de la MP como del PT se ven influenciados también por otros factores externos como la manipulación de la fruta por parte personal, así como las condiciones ambientales de trabajo.

Al cambiar la forma de lavado de la fruta, este se lo realizara ahora en el área interna de la planta por lo que las distancias de recorrido de la fruta antes de ingresar al área de proceso son mucho mas cortas evitándose también otros golpes leves.

Otra ventaja que se encontró al realizar el cambio en la forma de lavado es que la temperatura del banano al salir de la cámara de almacenamiento (14-16°C) se mantiene por mayor tiempo, esto no solo le confiere firmeza a la fruta sino que también ayuda a retardar la maduración acelerada y daños en la fruta por estar en un área con temperaturas altas (28-30 °C) que aceleran el proceso de

respiración del banano dando lugar a la generación de Etileno.

#### **2.4.2 Redistribución del personal operativo**

Para comprobar que hay un exceso de dotación en la etapa de pelado, que es el motor que regula la máxima o baja velocidad de la línea y permite determinar si el proceso esta siendo eficiente o no, se realizara un estudio de tiempos en esta etapa en particular.

Al realizar la toma de tiempo durante la etapa de pelado se pudo observar que esta operación consta de 3 fases, la acción de coger el banano de la banda recolectora, el pelado de la fruta, y colocar la cáscara a la banda de desperdicio, estas tres fases toman alrededor de 3.0 seg.

En la TABLA 6 se puede apreciar los resultados de la toma de tiempos, además en esta tabla se incluyen los porcentajes de suplementos que son tiempos perdidos por necesidades biológicas y fatiga del operador. A partir

de este análisis se puede determinar exactamente la cantidad de personas necesarias para garantizar el flujo constante de banano al túnel de congelación sin que este exceda su capacidad.

La toma de tiempo fue realizada a 5 personas diferentes como se muestra en la TABLA 6, esto representa el 50% de los operadores asignados al área de pelado, a cada persona se le realizó 15 tomas de tiempo en tres horas diferentes del día obteniéndose un total de 225 datos.

Como se indica en la TABLA 6 se determinó que en promedio cada persona tarda 3.5 seg. en pelar un banano, englobando esta acción tres movimientos en el operador esto es: Coger el banano, pelar el banano y botar la cáscara. En la determinación de los tiempos se asumió un porcentaje total de suplementos (necesidades personales, fatiga, demoras varias) equivalente al 10% basado en los porcentajes de tolerancias por NPF (9).

Con los datos de tiempos obtenidos se determinó que un operador pela en una hora 17 bananos, si en promedio

un banano sin cáscara y puntas pesa aproximadamente 0.115 Kg, quiere decir que una persona pela aproximadamente 122 kg./h como se muestra en la TABLA 6.

El número de personas asignadas en la etapa de pelado antes de realizar la toma de tiempos era de diez como se pudo apreciar en la TABLA 3. Después del estudio anteriormente descrito se concluye que se requieren únicamente ocho personas en esta etapa para mantener la línea balanceada. De las otras áreas descritas en la TABLA 3 se eliminaron:

- 2 de la zona de volteo (la nueva forma de lavado solo requiere primero el lavado con aspersores y la colocación de fruta en bandas).
- 1 volquetero-montacargas.
- 1 de limpieza.
- 3 maquilladoras (el volumen de fruta con defectos era baja cantidades).
- 1 rodajadora (cada persona rodaja 312 Kg./h considerando el 10 % por NPFDD y la rotación de personal en esta actividad).

**TABLA 6**

**DETERMINACIÓN DE TIEMPOS EN EL AREA DE PELADO**

<b>Producto: Rodajas de Banano congeladas</b>										
Actividad		Número de Personas Observadas					Tiempo Promedio (seg.)	% de Suplementos	Tiempo estándar (seg.)	
Descripción del trabajo realizado		1	2	3	4	5				
1	Coger el banano de las bandas	1.03	1.11	1.06	1.12	1.13	1.09	10	1.199	
2	Pelar el banano	0.94	0.88	0.97	0.96	0.97	0.94	10	1.034	
3	Botar la cáscara	1.02	1.06	1.07	1.05	1.12	1.06	10	1.166	
<b>TOTAL DE PERSONAS REQUERIDAS 8</b>								Tiempo Total (seg.)		3.399
								Bananos por minuto/ persona		17.65
								Kilos/minutos/persona		2.03
								Kilos/ hora/ persona		122

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

- 3 de la banda de inspección (se eliminaron al mejorar el parámetro grumos).

Con lo cual se obtuvo una reducción total de 13 personas.

### **2.4.3 Cambios en el diseño del túnel de congelación**

Las mejoras se centraron en realizar cambios en el diseño del equipo y obtener una mejor temperatura de ingreso de la fruta al túnel de congelación tomando en consideración las variables del proceso.

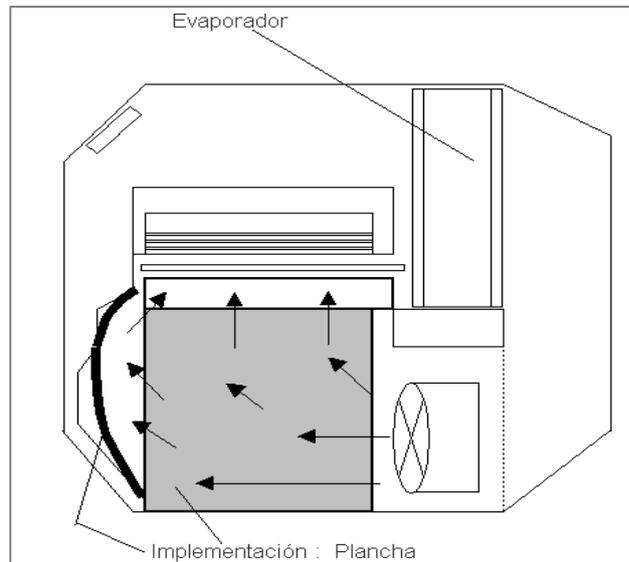
- **DISEÑO**

Para mejorar el coeficiente de transferencia de calor convectivo se realizaron los siguientes cambios en el túnel de congelación:

**a)** Se colocaran 2 planchas de acrílico para evitar las desviaciones de aire, una antes de llegar a la pared del túnel y otra debajo de los cilindros que dan movimiento a las placas de congelación ver (figuras 2.7. y 2.8).

FIGURA 2.7

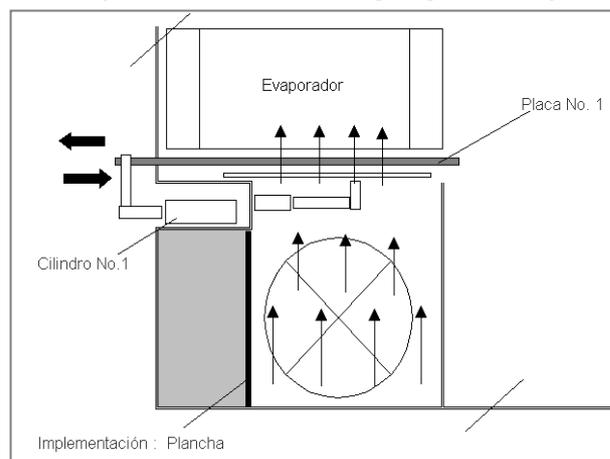
**VISTA FRONTAL DEL TUNEL DE CONGELACIÓN  
(Con los cambios propuestos)**



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

FIGURA 2.8

**VISTA LATERAL DEL TUNEL DE CONGELACIÓN  
(Con los cambios propuestos)**



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

Al colocar las planchas de acrílico se impide que el aire se desvíe a otras zonas y pierda fuerza direccionando el flujo de aire hacia la placas de congelación haciendo más eficiente le proceso de congelación al tener ahora un mayor flujo de aire disponible para congelar el producto en menor tiempo.

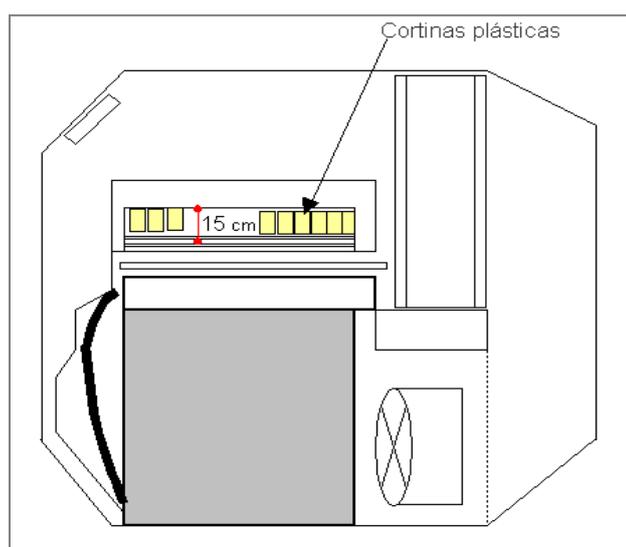
**b)** El segundo cambio que se realizo que fue la eliminación de las escaleras que estaban ubicadas en el interior del túnel que se puede apreciar en las figuras 2.7 y 2.8, al eliminar las escaleras la circulación del aire no se ve obstaculizada y desviada en otras direcciones permitiendo que flujo de aire sea continuo y en una dirección.

Con ambos cambios tanto la colocación de las planchas de acrílico como la eliminación de las escaleras se observa los gráficos 2.7 y 2.8 como mejora notablemente la circulación del aire en el túnel.

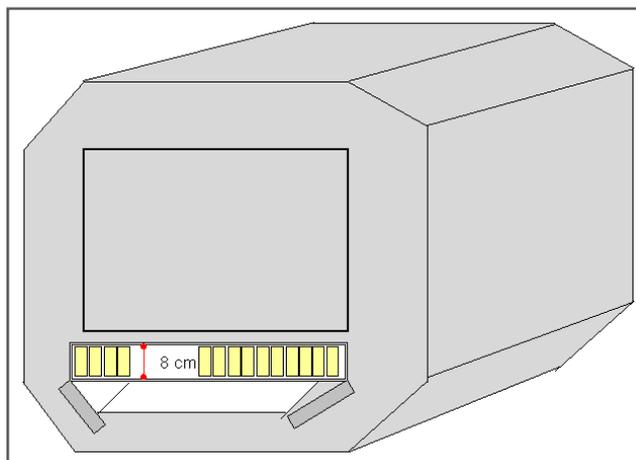
c) El tercer cambio efectuado en el túnel es la colocación de cortinas plásticas tanto en la entrada como en la salida de producto del equipo. Estas cortinas impiden que aire caliente del ambiente externo ingrese al interior y ocasionen variaciones de temperatura y el posterior escarchado del equipo.

El espacio a la entrada de producto es de 15cm como se puede ver en el gráfico 2.9, el de la salida de producto es de 8 cm gráfico 2.10.

**FIGURA 2.9**  
**VISTA FRONTAL DE ENTRADA DE PRODUCTO AL**  
**TUNEL**



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

**FIGURA 2.10****SALIDA DE PRODUCTO DEL TUNEL**

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

- **TEMPERATURAS DE INGRESO DE FRUTA AL TÚNEL DE CONGELACIÓN.**

El segundo punto a modificar para mejorar la eficiencia del túnel de congelación es disminuir las temperaturas de ingreso de la fruta en el momento que esta ingresa al túnel de congelación.

Para ello se realizaron cambios que contribuyeron a mantener la temperatura de la fruta desde el momento que esta sale de la cámara de almacenamiento, así el cambio en la forma de lavado es un factor que influye de manera indirecta pues su objetivo principal era el evitar golpes en la fruta, pero al estar la fruta menos tiempo en contacto con agua hace que mantenga su temperatura entre 14-16°C.

La temperatura del área de proceso fue modificada, trabajándose ahora en esta área en un rango de temperatura entre 15-18°C. La tercera modificación en temperaturas es en el agua de la tina de inmersión, aprovechando esta etapa que es muy importante en el proceso para evitar la oxidación de la fruta, se utilizara agua helada entre 4-6°C (como temperatura de arranque).

Se realizo un seguimiento durante una corrida de producción para verificar si las temperaturas se mantienen durante el proceso y posteriormente ver

como afectan estos cambios de temperatura en los tiempos de congelación.

En la TABLA 7 se puede apreciar en que rangos de temperaturas permanece la fruta desde el momento que sale de la cámara de almacenamiento hasta su salida del túnel de congelación como producto terminado.

Este seguimiento fue realizado posterior a los cambios en la forma de lavado y a los cambios de diseño realizados en el túnel de congelación.

**TABLA 7**  
**SEGUIMIENTO DE TEMPERATURAS DEL BANANO EN DIFERENTES ETAPAS**  
**(Con los cambios propuestos)**

<b>Etapas de Monitoreo de Temperatura (°C)</b>	<b>Arranque</b>	<b>1h</b>	<b>2h</b>	<b>3h</b>	<b>4h</b>	<b>5h</b>	<b>6h</b>
MP en Cámaras	13-15	14-15	14-15	13-15	14-16	13-15	14-15
Fruta después de lavado con aspersores	14-15	15-16	15-17	16-17	15-17	15-17	16-17
Rodajas antes de inmersión en tina	16-18	17-18	17-18	17-18	16-18	17-18	17-18
Temperatura del agua de la tina de inmersión	4-6	6-8	7-8	8-9	6-8	6-8	7-8
Rodajas después de la tina de inmersión.	13-14	14-15	14-15	14-15	13-14	13-14	13-14
Temperatura del túnel de congelación.	-32/-30	-30-29	-28/-29	-28/-29	-28/-29	-28/-29	-28/-29
Rodajas a la salida del túnel.	-22/-24	-21/-22	-21/-23	-21/-22	-21/-23	-21/-23	-21/-22
Temperatura del área de proceso	15-17	15-17	15-17	15-16	15-16	15-16	15-16

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

De acuerdo a los resultados mostrados en la TABLA 7 los parámetros de temperatura de ingreso de la fruta y de funcionamiento del equipo en promedio son:

**TABLA 8**  
**PROMEDIO DE TEMPERATURAS DEL PROCESO**  
**(Con los cambios propuestos)**

AREA	TEMPERATURA PROMEDIO
Temperatura de ingreso de la fruta al túnel	14 °C
Temperatura del túnel de congelación	-29°C
Temperatura del PT	-22°C

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero

Basándose en los resultados mostrados en TABLA 8 se realizarán los cálculos teóricos de predicción de tiempos de congelación para determinar si los resultados obtenidos en la práctica con los cambios efectuados en la línea son los óptimos.

## **2.5 VALIDACION DE LAS ACCIONES CORRECTIVAS PROPUESTAS**

Para determinar si las acciones correctivas propuestas son efectivas se realizara:

- Estudio de tiempos de congelación antes y después de realizar los cambios en la línea.
- Seguimiento del porcentaje de producto irregular luego de los cambios realizados.
- Seguimiento del rendimiento del Producto terminado.

### **2.5.1 Determinación de Tiempos de congelación**

El tiempo de congelación requerido para un producto establece la capacidad que posee el sistema empleado para alcanzar una temperatura final deseada y la calidad del producto congelado buscada (4).

Los cálculos de predicción del tiempo de congelación serán basados en la teoría de Cleland, que es una modificación de la Teoría de Plank.

Se realizara la determinación de los tiempos de congelación antes de haber realizado los cambios en la línea y posterior a estos para comprobar que las modificaciones realizadas están dando los resultados óptimos.

Previo a realizar los cálculos se realizará una explicación de las teorías en la cual estarán basados los cálculos.

- **Termodinámica de los Alimentos congelados**

La termodinámica de la congelación de los alimentos comienza primeramente con los cambios de estado del agua contenida en los productos como resultado del proceso de congelación. El cambio de temperatura en el producto durante la congelación decrece gradualmente a medida que el calor latente de fusión es removido del agua interna del producto. La relación entre la composición del producto y la temperatura es muy a menudo explicada en términos de la ecuación de

depresión de temperatura de congelación para una solución ideal (2). Esta ecuación es la siguiente:

$$\ln X_A = \frac{\lambda}{R} \left( \frac{1}{T_{AO}} - \frac{1}{T_A} \right) \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde

$X_A$  = Fracción de agua no congelada

$\lambda$  = Calor latente

$R$  = constante de los gases

$T_{AO}$  = Temperatura de Congelación del Agua

$T_A$  = Temperatura final del producto congelado

Esta ecuación ilustra la relación entre la fracción molar ( $X_A$ ) del agua del producto no congelado y la temperatura absoluta ( $T_A$ ) a la cual ocurre la formación de cristales de hielo como una función del calor latente de fusión y la constante universal de los gases ( $R$ ).

La fracción molar de agua contenida en un producto puede definírsela con la siguiente ecuación:

$$X_A = \frac{\frac{m_A}{M_A}}{\frac{m_A}{M_A} + \frac{m_B}{M_B}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

Donde:

$M_A$  = Peso molecular del Agua

$m_A$  = Contenido de humedad del producto

$m_B$  = Porcentaje de sólidos presentes en el producto

$M_B$  = Peso molecular del producto

La aplicación de las ecuaciones 2.1 y 2.2 puede ser directa en el caso de algunos productos alimenticios, pero puede ser indirecta cuando la composición del producto no está bien definida (2).

- **Propiedades de los Alimentos congelados**

El proceso de congelación produce un drástico cambio en las propiedades térmicas de los alimentos. Las propiedades de los alimentos cambian debido a la

pérdida de agua que experimentan así como al efecto que el cambio de estado produce en el agua. Cuando el agua dentro del producto pasa del estado líquido al estado sólido también cambian de forma gradual propiedades como la densidad, la conductividad térmica, la entalpía y el calor específico aparente del producto (4):

- **Densidad:** La densidad del agua en estado sólido (hielo) es menor que la densidad del agua líquida. La densidad de un alimento congelado será por tanto, menor que la del producto no congelado, existiendo una dependencia con la temperatura. El cambio gradual en la densidad se debe al cambio en la proporción de agua congelada en función de la temperatura (4). El cambio de densidad puede ser calculado por la siguiente ecuación desarrollada por Heldman (1982) (10) :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{m_{proteína}}{\rho_{proteína}} + \frac{m_{NoCong.}}{\rho_{NoCong.}} + \frac{m_{Hielo}}{\rho_{Hielo}} + \frac{m_{CH}}{\rho_{CH}} + \frac{m_{grasa}}{\rho_{grasa}} + \dots \quad \text{Ec.2.3}$$

Esta ecuación permite la predicción de los cambios de densidad durante la congelación, conociendo

previamente la masa de fracción de agua no congelada en el producto ( $m_{NoCong}$ ), la masa de sólidos ( $m_{Proteinas, grasas, cenizas, carbohidratos, etc}$ ) y la masa de la fracción de agua congelada presente en el producto ( $m_{hielo}$ ). La densidad de los componentes de los productos son variables en tablas estándares para el caso del agua en estado líquido y el agua congelada (hielo). La densidad de los componentes de los productos (Proteínas, grasas, carbohidratos, cenizas, etc.) fue determinada como una función de la temperatura por Choi y Okos (1986) y puede ser vista en el APENDICE 1.

- **Conductividad Térmica:** La conductividad térmica del hielo es aproximadamente cuatro veces superior a la del agua líquida. Esta relación tiene un efecto similar sobre la conductividad térmica de un alimento congelado, teniendo en cuenta que el cambio de fase del agua en el producto es gradual y que a medida que disminuye la temperatura la conductividad térmica del producto cambia de forma similar. La mayor parte del aumento producido en la conductividad térmica tiene lugar dentro

del intervalo de 10°C por debajo de la temperatura inicial de congelación del producto (7).

La conductividad térmica de un producto alimenticio esta en función del contenido de agua y su estructura. Esta puede ser calculada a partir de la siguiente ecuación:

$$K = K_{Proteína} m_{Proteína} + K_{NoCong} m_{No.Cong.} + K_{Hielo} m_{Hielo} + K_{CH} m_{CH} \quad \text{Ec.2.4}$$

Donde los valores de conductividad de los componentes de un producto se los puede obtener del APENDICE 2 desarrollada por Choi y Okos (1986) (2).

- **ENTALPIA:** La entalpía de un alimento congelado es una propiedad importante a la hora de realizar los cálculos de la refrigeración necesaria para la congelación del producto. La entalpía es prácticamente cero a -40°C y aumenta conforme aumenta la temperatura. A 10°C por debajo de la temperatura inicial de congelación, correspondiendo con el mayor cambio de fase del agua contenida en el producto, se producen cambios importantes en la entalpía del mismo (4).

La entalpía de un producto puede ser calculada a partir de su contenido de agua y el calor latente de fusión del agua a 0°C con la siguiente ecuación (2):

$$\Delta H = m_{\text{agua}} \lambda \quad \text{Ec.2.5}$$

- **CALOR ESPECIFICO APARENTE:** El calor específico de un producto alimenticio puede ser calculado basándose en su composición. La ecuación sugerida por Heldman and Singh para realizar este cálculo es la siguiente (2):

$$C_p = C_{p_{CH}} m_{CH} + C_{p_{noCong}} m_{noCong} + C_{p_{Hielo}} m_{Hielo} + C_{p_{prot.}} m_{prot.} \quad \text{Ec.2.6}$$

Donde el calor específico de los componentes del producto fue determinado por Choi y Okos (1986) y se presentan en el APENDICE 3.

- **DIFUSIVIDAD TÉRMICA APARENTE:** La difusividad térmica aparente aumenta progresivamente al disminuir la temperatura por debajo del punto inicial de congelación del producto. Para alimentos congelados

donde las propiedades son una función de la temperatura, puede aplicar la siguiente fórmula (4):

$$\alpha = \frac{k}{c_p * \rho} \quad \text{Ec.2.7}$$

Donde la Conductividad térmica ( $k$ ), el calor específico ( $C_p$ ) y la densidad ( $\rho$ ) corresponde al producto congelado.

- **Ecuación de Plank**

La primera ecuación y la más utilizada para calcular tiempos de congelación fue propuesta por Plank (1913) y posteriormente adaptada al caso de alimentos por Ede (1949). La ecuación es:

$$t_f = \frac{\rho \cdot L}{T_c - T_m} \left[ \frac{P \cdot a}{h_c} + \frac{R \cdot a^2}{k} \right] \quad \text{Ec.2.8}$$

Donde:

$t_f$  = Tiempo de congelación (s)

$\rho$  = Densidad del producto congelado (Kg/m<sup>3</sup>)

$L$  = Calor latente de fusión ( $J.kg^{-1}$ )

$T_c$  = Temperatura de congelación del producto

$a$  = Dimensión característica del producto (m)

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección

$k$  = Conductividad térmica del producto congelado

$P$  y  $R$  = Coeficientes que dependen de la forma del  
Producto que toma los valores presentados en  
La TABLA 9:

**TABLA 9**

**COEFICIENTES DE FORMA P Y R**

Forma del producto	P	R
Lámina infinita	1/2	1/8
Cilindro infinito	1/4	1/16
Esfera	1/16	1/24

La dimensión  $a$  es la anchura del producto para una lámina infinita, el diámetro para un cilindro infinito y el diámetro para esfera (4).

De la ecuación 2.8 el tiempo de congelación  $t_f$  aumentará cuando aumente la densidad, el calor latente  $H_f$  y la dimensión característica de  $a$ . Por otro lado, el tiempo de congelación disminuirá al aumentar el gradiente de temperatura, el coeficiente de transferencia de calor por convección  $hc$  y la conductividad térmica  $K$  del producto congelado (4).

- **Teoría de Clealand**

Clealand (1990) presentó un nuevo método para la predicción de tiempos de congelación y descongelación que puede utilizarse para objetos de un determinado tamaño y de cualquier forma mediante aproximaciones a la forma de un elipsoide. Entre las ventajas de este método se encuentra su facilidad de cálculo y los buenos valores que predice (4). En el desarrollo de este método es necesario realizar algunas suposiciones:

- Condiciones ambientales constantes
- Temperatura inicial uniforme

- Un valor de temperatura final fijo
- La transferencia de calor por convección hacia la superficie.

Estudios realizados por Clealand muestran que para efectos prácticos la influencia de la forma es relativamente independiente de otras condiciones que no sean el número de Biot y la geometría (4). Se sugiere la utilización de un factor de forma  $E$  de un objeto determinado, que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$t_{\text{elipsoide}} = \frac{t_{f(\text{Placainfinita})}}{E} \quad \text{Ec.2.9}$$

$$FO = \frac{\alpha * t_f}{a^2} \quad \text{Ec.2.10}$$

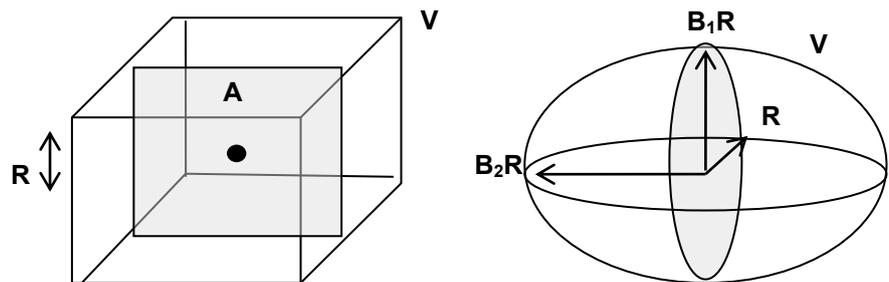
Donde el tiempo ( $t_f$ ) se lo obtiene de la ecuación (2.10). Donde  $\alpha$  es la conductividad térmica del producto congelado y  $a$  la menor dimensión característica del producto. El factor de forma  $E$  de un elipsoide con sus tres ejes  $R$ ,  $\beta_1 R$  y  $\beta_2 R$  viene dado por la siguiente ecuación:

$$E = 1 + \frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_1^2 + \frac{2\beta_1}{Bi}} + \frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_2^2 + \frac{2\beta_2}{Bi}} \quad \text{Ec.2.11}$$

Para otras formas diferentes a la elipsoidal, tales como la cúbica o la un cilindro finito, el factor de forma E puede calcularse definiendo un elipsoide modelo. El elipsoide modelo se considera que tiene las siguientes similitudes con la forma de un objeto determinado como se puede apreciar en la figura 2.11:

**FIGURA 2.11**

**FORMAS ELIPSOIDALES DE UN CUERPO**



**FUENTE:** Singh (4)

- La misma dimensión característica  $R$ ; es decir la distancia más corta desde el centro a la superficie del objeto.
- La misma área de la menor sección transversal  $A$ ; es decir, la menor sección transversal que contiene a  $R$ .
- El mismo volumen.

De esta manera los parámetros  $\beta_1$  y  $\beta_2$  se obtienen mediante las siguientes ecuaciones:

$$\beta_1 = \frac{A}{\pi R^2} \quad \text{Ec.2.12}$$

$$\beta_2 = \frac{3V}{4\pi\beta_1 R^2} \quad \text{Ec.2.13}$$

Donde:

$V$  = Volumen del producto

$R$  = Dimensión característica mas corta

$A$  = Area transversal del producto

- **Números Adimensionales**

Para el cálculo de tiempos de congelación es necesario determinar los siguientes números adimensionales:

- **Número de Biot:**

$$Bi = \frac{h_c R}{K} \quad \text{Ec.2.14}$$

Donde:

$h_c$  = Coeficiente de transferencia de calor por convección

$R$  = Menor longitud característica desde el centro a la Superficie del objeto.

$K$  = Conductividad térmica del producto

- **Número de Stephan:**

$$Ste = \frac{Cp_{Cong.} (T_F - T_a)}{\Delta H^m} \quad \text{Ec.2.15}$$

Donde:

$Cp$  = Calor específico del producto congelado

$T_f$  = Temperatura inicial de congelación de la fruta

$T_a$  = Temperatura del aire del equipo

$\Delta H^m$  = Entalpia del producto

- Número de Plank

$$Pk = \frac{Cp_{NoCong}(T_i - T_A)}{\Delta H^m} \quad \text{Ec.2.16}$$

Donde.

$Cp$  = Calor específico del producto sin congelar

$T_i$  = Temperatura inicial de la fruta antes de la congelación

$T_f$  = Temperatura inicial de congelación de la fruta

$\Delta H^m$  = Entalpia del producto

- Número de Fourier

$$Fo = P \frac{1}{Bi * Ste} + \frac{R}{Ste} \quad \text{Ec.2.17}$$

$$Fo = \frac{\alpha * t_f}{a^2} \quad \text{Ec.2.10}$$

Donde:

$P$  y  $R$  = Valores obtenidos de gráficos a partir del número de Stephan Y Plank.

$\alpha$  = Conductividad térmica del producto congelado

$t_f$  = Tiempo de lámina infinita

$a$  = Menor dimensión característica del producto

- **Calculo de tiempos de Congelación**

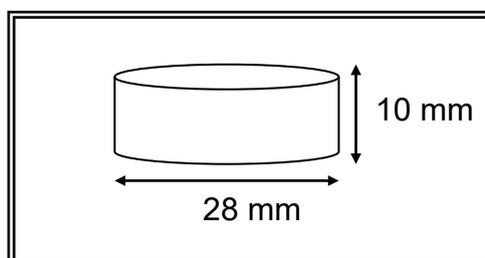
Se procederá a realizar los cálculos de tiempos de congelación antes de realizar los cambios en la línea de producción y después de los cambios, para de esta forma comparar los tiempos reales de congelación versus los teóricos después de las modificaciones y concluir si las modificaciones realizadas son las óptimas.

**a) TIEMPO DE CONGELACION (ANTES DE LAS MODIFICACIONES).**

**DATOS:**

- ✓ **Forma y medida del Producto:**

**FIGURA 2.12**  
**MEDIDAS DE LA RODAJA DE BANANO**



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

En la figura 2.12 se aprecia que el espesor del producto es de 10 mm y el diámetro de 28 mm.

✓ **Composición nutricional de producto:**

Valores obtenidos de la TABLA 1

<b>Producto: Banano</b>	<b>Porcentaje</b>
Agua	75.7 %
Carbohidratos	22.2 %
Proteínas	1.1 %
Lípidos	0.2 %

**ELABORADO:** Mariuxi Riquero A.

✓ **Temperaturas del Proceso**

Valores obtenidos de la TABLA 4

**TABLA 10**  
**PROMEDIOS DE TEMPERATURAS DE PROCESO**

<b>Etapa</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Temperatura final del PT	-21.0
Temperatura de Ingreso de la fruta (TA)	21.0
Temperatura del Equipo	-24.5
Temperatura de congelación del Banano	-0.8

**ELABORADO:** Mariuxi Riquero A.

Los tres primeros valores de temperatura son el promedio obtenido de la TABLA 4. Y la temperatura de congelación del Banano fue obtenida del APENDICE 4.

**1.- Determinación de propiedades térmicas del banano**

Previo a la determinación de las propiedades térmicas es necesario calcular la masa de hielo presente en el producto, para lo cual se realizaran los siguientes cálculos:

a) Se empleará la fórmula 2.1 para determinar la fracción de agua no congelada.

$$\ln X_A = \frac{\lambda}{R} \left( \frac{1}{T_{AO}} - \frac{1}{T_A} \right) \quad \text{Ec. 2.1}$$

La fracción de Agua no congelada a  $-21^\circ\text{C}$ :

$$\ln X_A = \frac{\lambda}{R} \left( \frac{1}{T_{AO}} - \frac{1}{T_A} \right)$$

$$\ln X_A = \frac{333.5}{8.314 * 10^{-3}} * 0.018 \left[ \frac{1}{273} - \frac{1}{252} \right]$$

$$X_A = \mathbf{0.80}$$

b) Determinar la cantidad de masa no congelada ( $m_A$ ) a partir de la ecuación (2.2):

$$X_A = \frac{\frac{m_A}{M_A}}{\frac{m_A}{M_A} + \frac{m_B}{M_B}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

De esta ecuación se desconoce el valor de  $M_B$ , el cual se puede calcular de la ecuación (2.1) a la temperatura inicial de congelación del banano  $-0.8^\circ\text{C}$ .

$$\ln X_A = \frac{\lambda}{R} \left( \frac{1}{T_{AO}} - \frac{1}{T_A} \right) \quad \text{Ec. 2.1}$$

$$\ln X_A = \frac{333.5}{8.314 * 10^{-3}} * 0.018 \left[ \frac{1}{273} - \frac{1}{272.2} \right]$$

$$X_A = 0.99$$

El valor de  $m_A$  es el agua presente en la fruta (75.7%), por lo que se puede calcular el valor de  $M_B$  de la ecuación 2.2:

$$X_A = \frac{\frac{m_A}{M_A}}{\frac{m_A}{M_A} + \frac{m_B}{M_B}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

$$X_A = \frac{\frac{75.7}{18}}{\frac{75.7}{18} + \frac{24.3}{M_B}} = 0.99$$

$$M_B = 572$$

Este valor de  $M_B$  es reemplazado en la ecuación 2.2 para conocer la masa de Agua no congelada:

$$X_A = \frac{\frac{m_A}{18}}{\frac{m_A}{18} + \frac{24.3}{572}} = 0.80$$

$$m_A = 0.0305$$

Por lo que la masa de hielo es:

$$m_{hielo} = 0.757 - 0.0305 = 0.726 \rightarrow 72.6\%$$

c) Cálculo de las propiedades térmicas del Banano

- **Calor Especifico (Producto Congelado)**

$$Cp = Cp_{CH} m_{CH} + Cp_{noCong} m_{noCong} + Cp_{Hielo} m_{Hielo} + Cp_{prot.} m_{prot.} \quad \text{Ec. 2.6}$$

$$Cp = 1.547(0.22) + 4.18(0.0305) + 2.27(0.726) + 1.71(0.011)$$

$$Cp = 2.134 \quad \text{KJ/Kg } ^\circ\text{C}$$

- **Calor Especifico (Producto antes de la congelación)**

$$Cp = Cp_{CH} m_{CH} + Cp_{noCong} m_{noCong} + Cp_{prot.} m_{prot.} \quad \text{Ec.2.6}$$

$$Cp = 1.547(0.22) + 4.18(0.757) + 1.71(0.011)$$

$$Cp = 3.523 \quad \text{KJ/Kg } ^\circ\text{C}$$

- **Densidad**

$$\frac{1}{\rho} = \frac{m_{proteína}}{\rho_{proteína}} + \frac{m_{NoCong.}}{\rho_{NoCong.}} + \frac{m_{Hielo}}{\rho_{Hielo}} + \frac{m_{CH}}{\rho_{CH}} \quad \text{Ec. 2.3}$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{0.011}{1289.4} + \frac{0.0305}{997.6} + \frac{0.726}{919.4} + \frac{0.222}{1424}$$

$$\rho = 1015.59 \quad \text{Kg/m}^3$$

- **Conductividad Térmica**

$$K = K_{Prot.} m_{Prot.} + K_{NoCong.} m_{No.Cong.} + K_{Hielo} m_{Hielo} + K_{CH} m_{CH} \quad \text{Ec. 2.4}$$

$$K = 0.199(0.011) + 0.601(0.0305) + 2.37(0.726) + 0.20(0.222)$$

$$K = 1.784 \text{ W/m}^\circ\text{k}$$

Una vez determinadas las propiedades térmicas de la fruta (Banano) se procederá con el cálculo del tiempo de congelación, para ello se realizarán los siguientes pasos:

- a) Determinación de los números Adimensionales de Biot, Stephan, Plank

Para la determinación del número de Biot se asumirá que el valor del coeficiente convectivo se encuentra funcionando con un 10% menos de eficiencia, es decir se asumirá un valor de 80 W/m<sup>°</sup>K. El valor del coeficiente convectivo para un túnel de lecho de fluidizado esta entre 90 – 130 W/ m<sup>°</sup>K cuando esta funcionando en optimas condiciones ver APENDICE 5.

- **Número de Biot:**

$$Bi = \frac{h_c R}{K} \quad \text{Ec 2.14}$$

$$Bi = \frac{80 * 0.05}{1.784} = 0.224$$

- **Número de Stephan:**

$$Ste = \frac{Cp_{Cong.}(T_F - T_\alpha)}{\Delta H^m} \quad \text{Ec 2.15}$$

$$Ste = 0.208$$

- **Número de Plank:**

$$Pk = \frac{Cp_{NoCong.}(T_i - T_A)}{\Delta H^m} \quad \text{Ec 2.16}$$

$$Pk = 0.302$$

Con los valores del número de Stephan y el número de Plank se obtienen los valores de P y R de los APENDICES 6 Y 7.

De donde:

- **P= 0.618**
- **R= 0.187**

c) Calcular el número de Fourier a partir de la ecuación 2.17 para determinar luego de la ecuación 2.10 el tiempo de congelación para una placa infinita ( $t_f$ ).

$$Fo = P \frac{1}{Bi * Ste} + \frac{R}{Ste} \quad \text{Ec. 2.17}$$

$$Fo = 16.55$$

$$Fo = \frac{\alpha * t_f}{a^2} \quad \text{Ec. 2.10}$$

De donde  $\alpha$  es igual a:

$$\alpha = \frac{k}{c_p * \rho} \quad \text{Ec. 2.7}$$

$$\alpha = 8.20 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

De la ecuación de Fourier

$$t_f = \frac{F_o a^2}{\alpha} \quad \text{Ec. 2.10}$$

$$t_f = \frac{16.55 * 0.010^2}{8.2 \times 10^{-7}}$$

$$t_f = 2024.3 \text{ seg.}$$

Siendo el tiempo de congelación igual a:

$$t = \frac{t_{f(Placa\ infinita)}}{E} \quad \text{Ec. 2.9}$$

E puede ser calculado a partir de la ecuación 2.11 para un cilindro infinito.

$$E = 1 + \frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_1^2 + \frac{2\beta_1}{Bi}} + \frac{1 + \frac{2}{Bi}}{\beta_2^2 + \frac{2\beta_2}{Bi}} \quad \text{Ec.2.11}$$

Donde:

$$\beta_1 = \frac{A}{\pi R^2} \quad \text{Ec 2.12}$$

$$\beta_2 = \frac{3V}{4\pi\beta_1 R^2} \quad \text{Ec 2.13}$$

De donde el área y el volumen están definidos por la forma, para este caso los slices de banano se los considera de forma cilíndrica, por lo que:

$$\beta_1 = 11.2$$

$$\beta_2 = 1.05$$

Con  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ , y  $\# B_i$  se puede obtener el valor de E con la ecuación 2.11.

$$E = 1.99$$

Con los valores de  $t_f$  y E se puede calcular el tiempo de congelación de la ecuación 2.9:

$$t = 17 \text{ minutos}$$

El tiempo de congelación obtenido con los parámetros y condiciones normales de procesos es de 17 minutos, en línea el tiempo real que tarda el producto en congelarse en las condiciones de trabajo anteriormente descritas es entre 15-17 minutos.

- **TIEMPO DE CONGELACION (DESPUES DE LAS MODIFICACIONES PROPUESTAS).**

**DATOS:**

- ✓ **Forma y medida del Producto:**

Estos valores son obtenidos de la figura 2.12

- ✓ **Composición nutricional de producto:**

Valores obtenido de la TABLA 1

<b>Producto: Banano</b>	<b>Porcentaje</b>
Agua	75.7 %
Carbohidratos	22.2 %
Proteínas	1.1 %
Lípidos	0.2 %

✓ **Nuevas temperaturas del Proceso**

Para estos cálculos se empleará los datos descritos en la TABLA 8

**TABLA 8**  
**PROMEDIO DE TEMPERATURAS EN EL PROCESO**  
**(Con los cambios propuestos)**

<b>Etapa</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Temperatura final del PT	-22.0
Temperatura de Ingreso de la fruta (TA)	14.0
Temperatura del Equipo	-29.0
Temperatura de congelación del Banano	-0.8

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

Con estos nuevos valores de temperaturas del proceso se procederá a realizar los mismos cálculos efectuados anteriormente empleando el mismo procedimiento.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

**TABLA 11**  
**CALCULO DE PROPIEDADES TERMICAS DEL BANANO**

<b>Propiedades térmicas del Banano</b>	
Cp (Producto congelado)	2.132 KJ/ kg°C
Cp (Producto antes de congelar)	3.523 KJ/ Kg°C
Densidad	1015.7 Kg/m <sup>3</sup>
Conductividad Térmica	1.787 W/ m°K

**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

En la TABLA 11 se aprecia los valores obtenidos de Calor específico del producto congelado y sin congelar, la densidad y conductividad térmica del banano con los nuevos parámetros de proceso.

En la TABLA 12 se muestran los resultados de los valores de los números adimensionales para el posterior cálculo del tiempo de congelación.

TABLA 12

## CALCULO DE NUMEROS ADIMENSIONALES

Números Adimensionales	
# de Biot ( $h_c = 100$ )	0.279
# de Stephan	0.247
# de Plank	0.215
Valor P	0.592
Valor R	0.195
# de Fourier	9.38

ELABORADO POR: Mariuxi Riquero A.

TABLA 13

## CALCULO DE TIEMPO DE CONGELACIÓN

Tiempo de congelación	
Tiempo de lámina ( $t_f$ )	1136.96 seg.
Valor E	1.986
Tiempo de congelación (t)	9.54 minutos

ELABORADO POR: Mariuxi Riquero A.

El tiempo de congelación obtenido con las modificaciones propuestas es 9.54 minutos como se aprecia en la TABLA 13, este tiempo es mucho menor al anterior y bastante cercano al nuevo tiempo actual en línea de 10 minutos, por lo que se concluye que los cambios realizados mejoraron los tiempos de congelación, esto por consiguiente contribuye a aumentar los kg./horas de producto terminado mejorándose la eficiencia de la línea de producción.

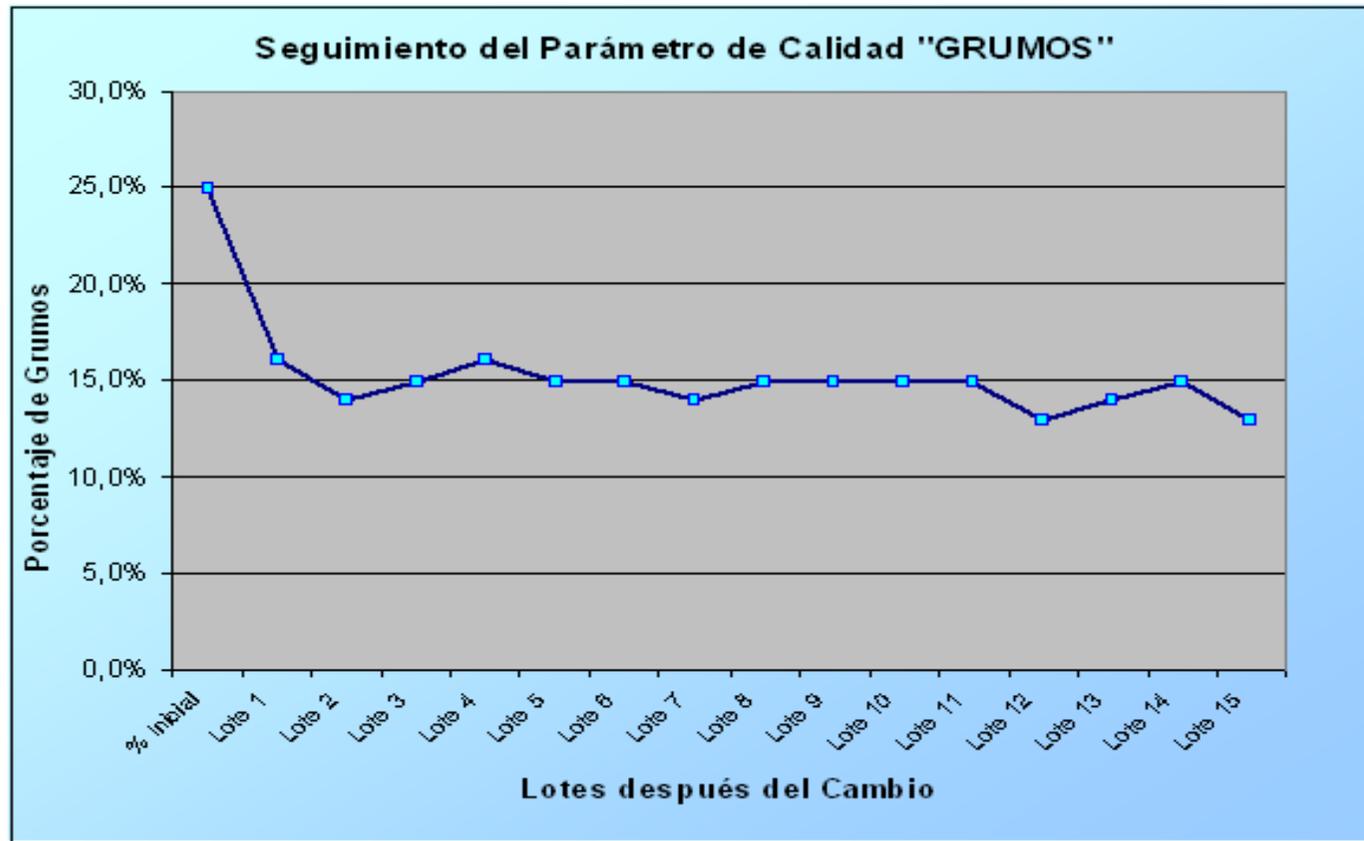
### **2.5.2 Porcentaje de producto irregular (Grumos)**

Posterior a los cambios realizados se hizo un seguimiento de las producciones posteriores para verificar la efectividad de las acciones implementadas para mejorar el acabado del producto terminado.

En la figura 2.13 se observa la disminución del porcentaje de grumos del 25% al 15%, se aprecia que el porcentaje se mantiene casi constante y con tendencia a valores cercanos al 10%.

Los cambios realizados influyeron en la disminución del porcentaje de grumos, y por ende mejorando el acabado del producto final obteniéndose el resultado deseado.

**FIGURA 2.13**  
**SEGUIMIENTO DEL PARAMETRO DE CALIDAD "GRUMOS"**



ELABORADO POR: Mariuxi Riquero A.

### 2.5.3 Rendimiento obtenido

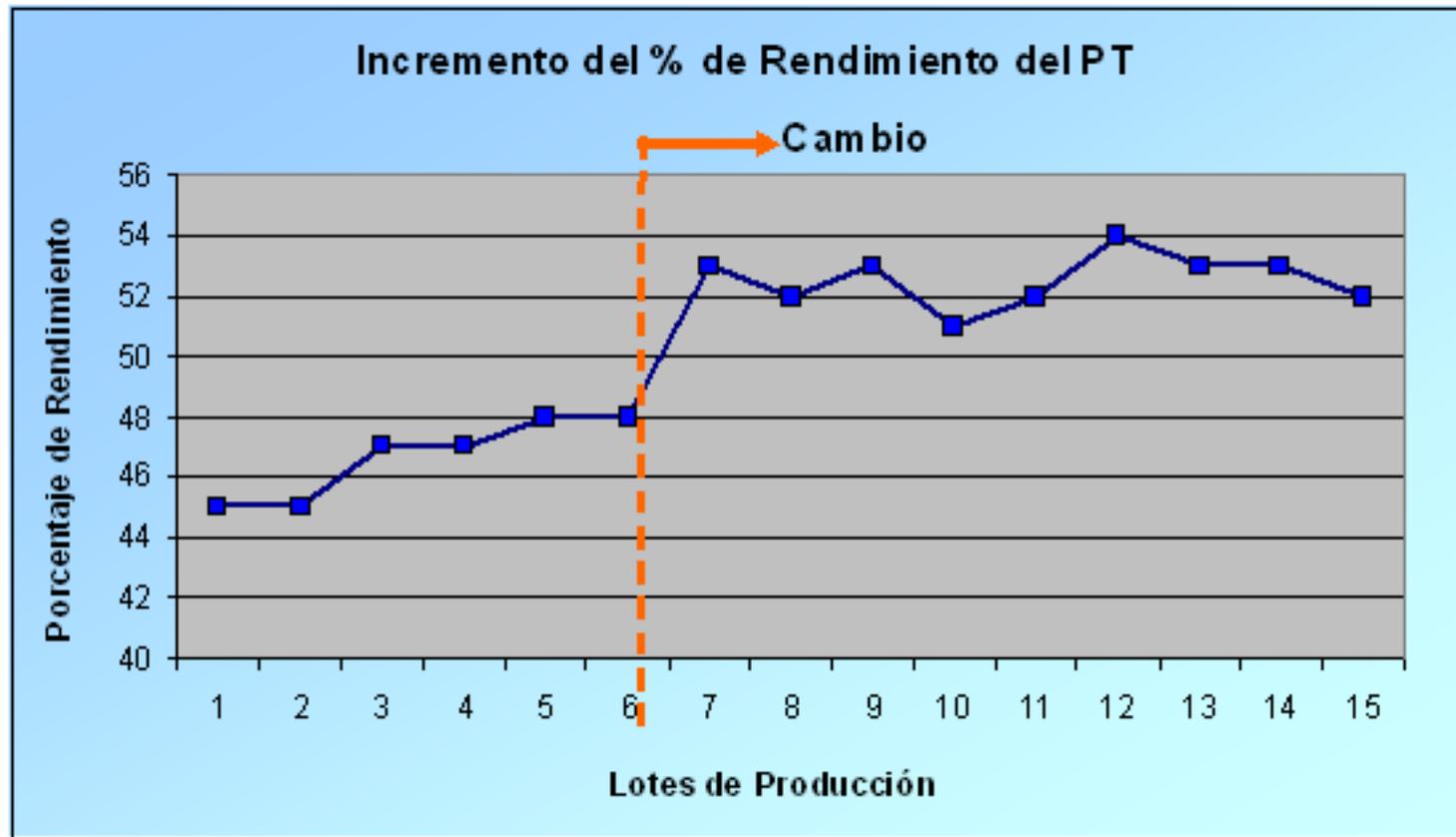
Posterior a los cambios realizados se realizo un seguimiento de los rendimientos obtenidos en corridas posteriores para verificar la eficacia de las acciones implementadas.

En la figura 2.14 se puede observar cuales fueron los resultados del rendimiento por lote de producción desde el mes en que se realizo el cambio en la forma de Lavar la fruta. En la figura 2.14 del lote 1-6 los valores de rendimiento reflejados son antes de haber realizado el cambio, del lote 6 en adelante los porcentajes de rendimiento se vieron afectados positivamente como se puede apreciar.

Los porcentajes de rendimiento del producto terminado aumentaron notablemente al disminuir el porcentaje de desperdicio  $D_3$ . El rendimiento promedio de los últimos seis lotes de producción antes de realizar los cambios es del 46.5 %, mientras que el rendimiento promedio de los 9 lotes posteriores a el cambio es del 52.6%.

FIGURA 2.14

INCREMENTO DEL PORCENTAJE DE RENDIMIENTO EN EL PT



ELABORADO POR: Mariuxi Riquero A.

# **CAPITULO 3**

## **3. ANALISIS DE RESULTADOS**

Luego de haber realizado los cambios planteados en el capítulo 2 en cada una de etapas del proceso de elaboración de rodajas congeladas de banano se obtuvieron resultados favorables en cuanto a mejoras de costos del productos terminado, mejor calidad de acabado del producto final y mayor eficiencia de producción kg./h de PT. Consiguiéndose de esta manera alcanzar los objetivos planteados en el proyecto de reingeniería de la Línea de producción.

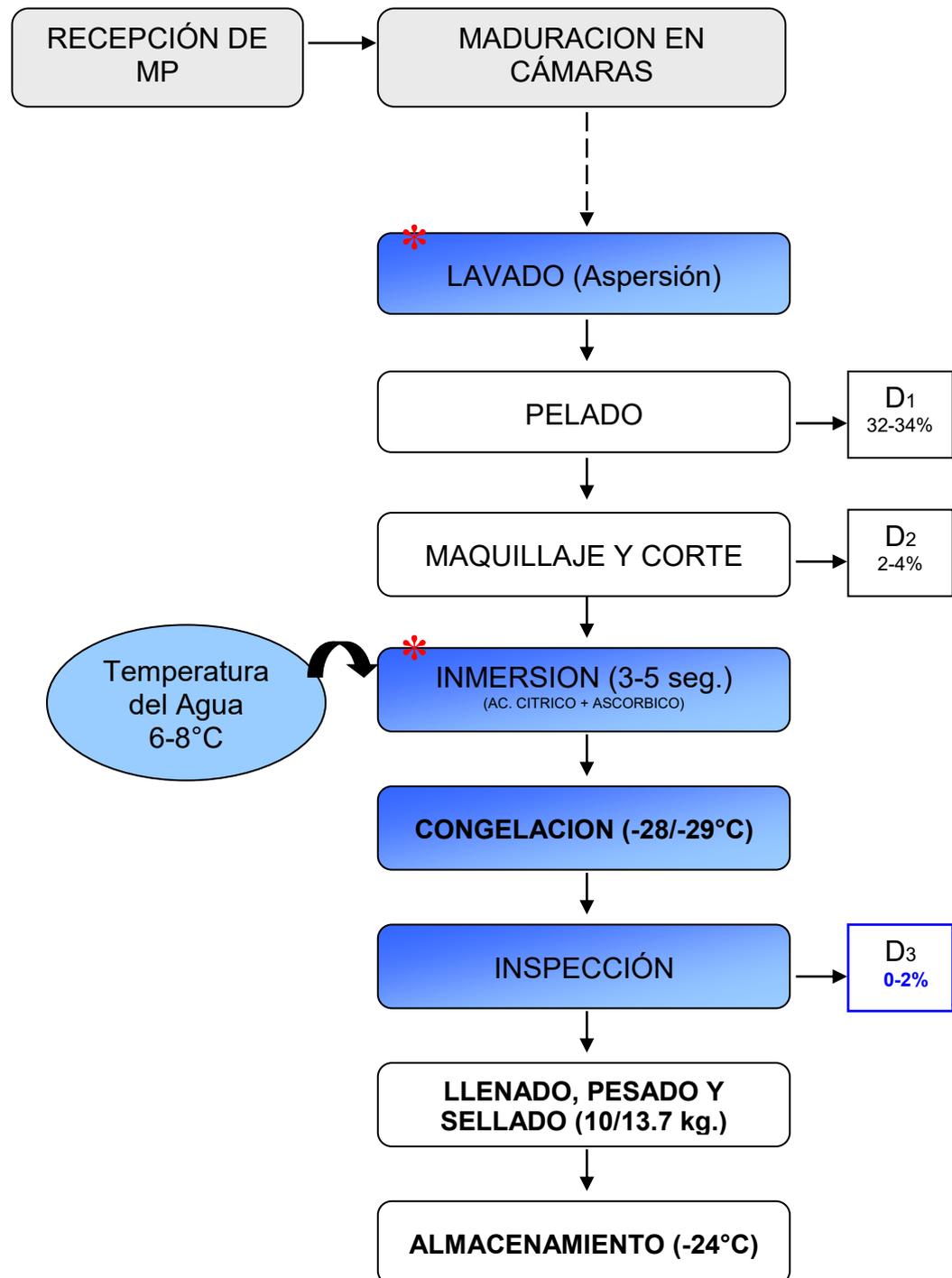
A continuación se presentaran los resultados de estos cambios y la evolución de los mismos.

### 3.1 Cambios en el Diagrama de Flujo

Eliminadas las etapas de Lavado 1 y 2 se redujo el maltrato de la fruta por golpes, la formación de grumos en la etapa de congelación, y por ende el rápido taponamiento de los orificios de las placas de congelación.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo actual del proceso, en este diagrama se puede apreciar que el porcentaje de desperdicios ( $D_3$ ) disminuye del 15% al 2%

**FIGURA 3.1**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE ELABORACIÓN DE RODAJAS**  
**CONGELADAS DE BANANO (Con los cambios propuestos)**



En el diagrama de flujo los cuadros con color azul y asterisco rojo identifican las etapas del proceso que fueron modificadas y los cuadros azules sin asteriscos representan las etapas que se vieron afectadas por los cambios.

### **3.2 Tiempos de Congelación**

Los tiempos de congelación disminuyeron notablemente al realizar los cambios en el diseño del Túnel de Congelación y el manejo de las temperaturas de ingreso de fruta, estos cambios mejoraron la circulación del aire internamente y por ende las temperaturas de congelación fueron mayores, lo que permitió poder aumentar los kilos de producto procesado.

El tiempo de congelación para el producto rodajas congeladas de banano actualmente es de 10 minutos. Se obtuvo una disminución de 5-7 minutos del tiempo de congelación.

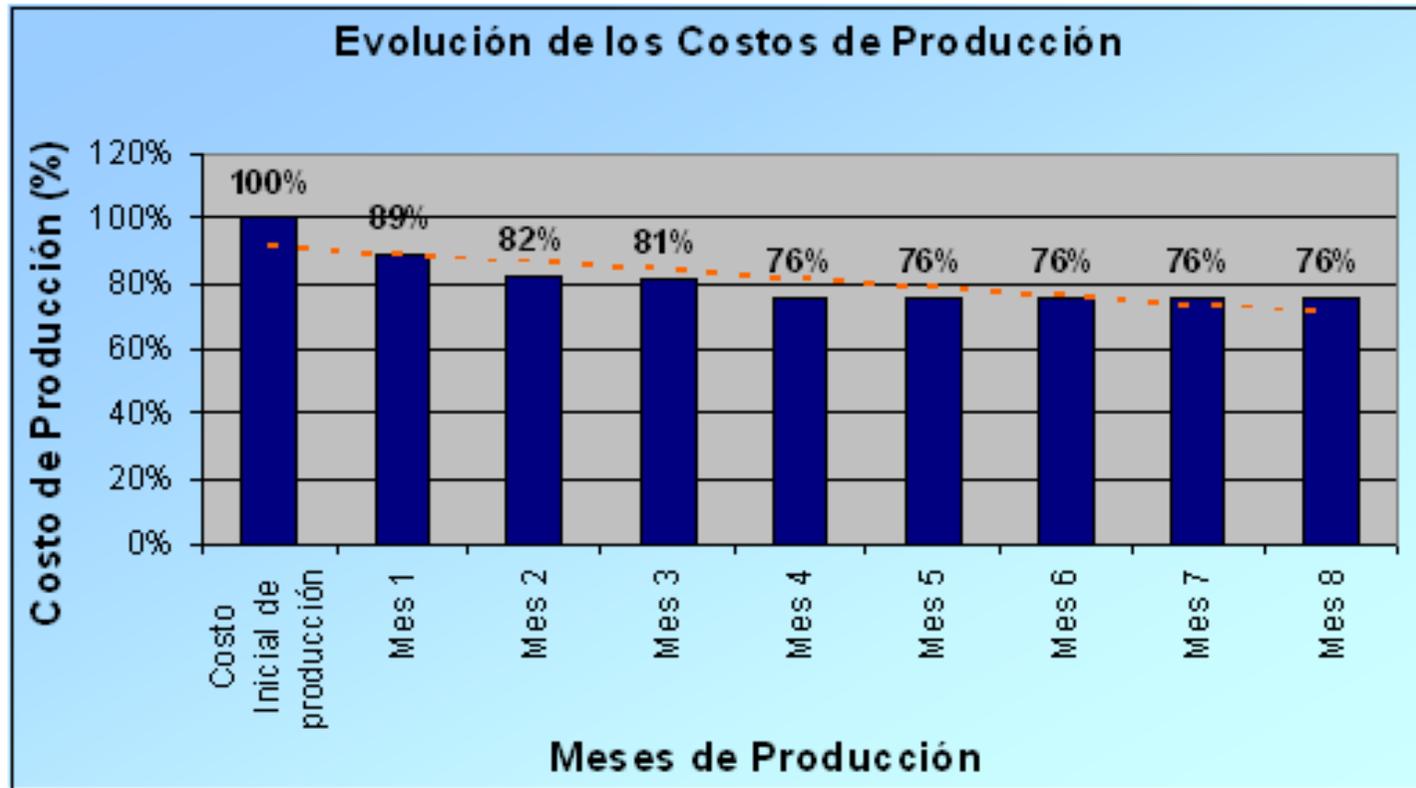
### **3.3 Estudio de rendimientos**

El rendimiento del producto terminado aumento notablemente como se aprecio en la figura 2.14. El rendimiento promedio para este producto actualmente se encuentra entre el 52-53%, manteniéndose en cada producción.

La mejora de los rendimientos del producto terminado impacto positivamente sobre los costos de producción tal como se puede apreciar en la figura 3.2. Del costo inicial del 100% hubo una disminución del 24% del costo del producto lo cual influyo directamente sobre el precio de venta.

FIGURA 3.2

EVOLUCION PORCENTUAL DE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN



ELABORADO POR: Mariuxi Riquero A.

### **3.4 Calidad del producto final**

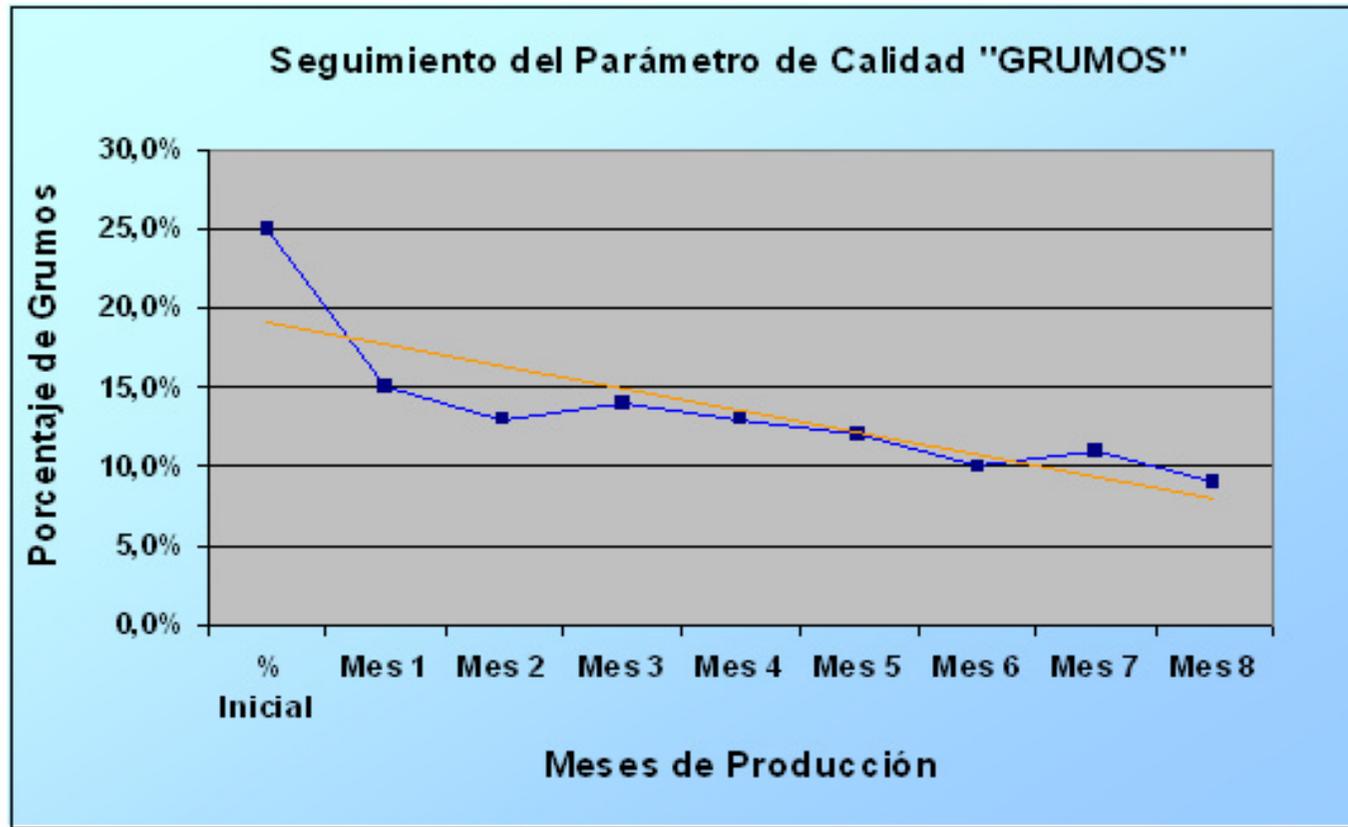
La calidad del producto terminado se vio afectada positivamente con los cambios. Es así que el porcentaje de producto terminado con grumos disminuyó del 25% al 10%, mejorando la apariencia de las cajas de PT y con ello incrementando la aceptación del producto por parte de los clientes.

Para poder medir estas mejoras se realizó el seguimiento mensual de este parámetro específico de calidad en producciones posteriores. Siendo los resultados los que se muestran a continuación en la figura 3.3.

En la figura 3.3 se aprecia que el porcentaje de grumos se mantuvo entre el 10 al 15% teniendo tendencia al 10%. Con estos resultados se comprueba que con las modificaciones implantadas se dieron los resultados esperados de mejorar la calidad del producto.

FIGURA 3.3

SEGUIMIENTO MENSUAL DEL PARÁMETRO DE CALIDAD "GRUMOS"



ELABORADO POR: Mariuxi Riquero A

En la figura 3.4 se puede apreciar la diferencia entre un producto que contiene un porcentaje de grumos equivalente al 25% y otro que tiene <15% de grumos en el producto terminado.

**FIGURA 3.4**  
**COMPARACIÓN ENTRE UN PRODUCTO CON 25% CON UNO DE 15% DE GRUMOS**



**ELABORADO POR:** Mariuxi Riquero A.

Los costos incurridos para la realización del proyecto fueron de aproximadamente de \$300, este monto corresponde a la compra de planchas de acrílico para realización de los cambios en el diseño del túnel y a costos incurridos en cámaras de congelación y para la obtención hielo para el proceso productivo, el valor de este último es de aproximadamente \$60, costo en que se debe incurrir en cada producción. La tasa interna de retorno para esta inversión es del 7000% superior a la tasa actual del mercado del 15% por lo que el proyecto es muy rentable al no requerir de una mayor inversión, la inversión es recuperada al primer mes de implementado el proyecto.

El costo por mano de obra se vio afectado positivamente al reducir el número de personas en la línea de 45 a 32, obteniéndose una reducción del 29% del costo por mano de obra.

\* Por política de la compañía en la se realizo el proyecto no se mencionan los flujos de caja mensuales ni los costos en los que se incurre por mano de obra, los porcentajes anteriormente mencionados fueron calculados basados en estos costos.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Los cambios realizados tanto en las etapas del proceso como del diseño del equipo influyeron directamente sobre los rendimientos del producto terminado, obteniéndose un incremento del 45% al 52% debido a la disminución del porcentaje de desechos que se formaban posterior a etapa de congelación.
2. La apariencia del producto terminado se veía afectada por la presencia de grumos en las rodajas de banano. Los grumos se formaban debido a una incorrecta manipulación de la materia prima durante el proceso, produciendo golpes y ablandamientos. Estos ablandamientos volvía al fruto mas susceptible al daño mecánico durante el proceso de congelación en el lecho fluidizado. Estos desprendimientos daba lugar a la presencia de grumos en las rodajas congeladas.

3. La calidad del acabado del producto terminado mejoró notablemente al disminuir el porcentaje de grumos del 25% al 15%, esta reducción se la obtuvo, producto del cambio en la forma de lavado de la fruta lo que redujo los golpes y el ablandamiento de la misma al no estar sumergida en contacto con el agua por un período prolongado de tiempo. Esto nos permitió poder presentar al mercado un producto más atractivo y competitivo tanto en calidad como en precio.
4. Los desechos que se obtenían luego de la etapa de congelación debido a la formación de grumos y que eran eliminados para obtener un producto dentro de especificación disminuyeron del 15% al 2%, esta reducción influyó directamente sobre el rendimiento del producto terminado.
5. Con las mejoras implementadas a nivel de diseño del equipo, y temperaturas de proceso se logro reducir los tiempos de congelación de 17 a 10 minutos, lo que permitió incrementar los volúmenes de producción. Este tiempo disminuyo al mejorar la circulación y distribución del aire en el interior del Equipo, aumentando el coeficiente convectivo de transferencia de calor ( $h_c$ ). Además se disminuyo el gradiente de temperatura al preenfriar el producto antes de la etapa de congelación.

6. Al haber obtenido el incremento del rendimiento del producto terminado, la disminución de desechos y el aumento de la capacidad de producción del túnel de congelación los costos de producción se vieron disminuidos en un 25% del costo inicial antes de realizar las mejoras, lográndose con esto mejorar el precio del producto en el mercado y haciéndolo más competitivo.
7. Se consiguió la reducción del 25% de mano de obra al realizar un adecuado balance de la línea de producción y optimizar las actividades de los operarios en cada una de las áreas.
8. El costo de la inversión de la realización del presente proyecto fue mínimo (\$300) comparado con todas las mejoras obtenidas en calidad, rendimiento, eficiencia de equipo y reducción de costos, este valor es recuperable al mes por lo que la inversión resulto muy rentable como lo comprueban la tasa interna de retorno del 7000%.
9. Con el proyecto realizado se obtuvieron los objetivos planteados de mejorar calidad la calidad del producto terminado, aumentar los rendimientos y aumentar la capacidad de producción del equipo de congelación, todo esto influyendo de una maneja positiva en los costos.

10. Se recomienda algunos cambios adicionales en el diseño del equipo que pueden contribuir a mejorar la circulación de aire en la primera placa de congelamiento y mantener las temperaturas de congelación del equipo, estas son:

- a) Colocación de visores en las compuertas de inspección de producto, esto evitaría la pérdida de temperatura al abrir las compuertas para inspeccionar el producto, además evitaría que el operador se exponga constantemente a esas bajas temperaturas y no permitiría el ingreso de aire con mayor temperatura al interior del equipo.
  
- b) Colocar el cilindro neumático que da movimiento a las placas de congelación en la parte externa del equipo, como lo traen los actuales diseños, esto mejoraría la circulación de aire en la primera placa de congelación al no sufrir la corriente de aire desviación debido a la presencia de este cilindro, además evitaría el uso de una resistencia térmica que actualmente posee este cilindro para evitar su congelación por estar expuesto a tan bajas temperaturas.

## **A P E N D I C E**

## APENDICE 1

### TABLA DE DENSIDAD DE LOS ALIMENTOS

T (°C)	Density (kg/m <sup>3</sup> )					Data	Error	Standard No. of %
	Water	Protein	Fat	Carbohydrate	Ash			
20	997.6	1289.4	916.4	1424.6	1743.4	13	3.02270	0.28
30	995.2	1272.2	913.5	1413.3	1731.2	16	24.5498	2.29
40	991.2	1258.4	906.7	1399.2	1719.8	15	22.9114	2.14
50	986.8	1246.2	902.7	1386.4	1704.7	16	26.4704	2.48
60	983.3	1231.4	894.3	1369.5	1691.5	11	26.0143	2.45
70	978.2	1222.6	884.9	1358.2	1679.1	7	29.7849	2.82
80	971.5	1212.9	880.0	1346.4	1668.8	6	32.2467	3.04
90	965.0	1204.3	876.0	1337.2	1658.4	6	33.0122	3.15
100	958.0	1198.4	874.2	1331.7	1649.3	5	32.0948	3.07

**FUENTE:** Choi y Okos (1986)

**APENDICE 2**

**TABLA DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS**

**ALIMENTOS**

T (°C)	Thermal conductivity (W/m·°C)					No. of data	Standard error	Standard % error
	Water	Protein	Fat	Carbohydrate	Ash			
20	0.6012	0.1993	0.1765	0.2039	0.1356	20	0.0147	2.85
30	0.6191	0.2109	0.1759	0.2178	0.1402	26	0.0248	4.79
40	0.6332	0.2182	0.1737	0.2285	0.1430	23	0.0251	4.88
50	0.6464	0.2291	0.1724	0.2386	0.1480	23	0.0243	4.32
60	0.6542	0.2349	0.1708	0.2463	0.1543	23	0.0235	3.96
70	0.6643	0.2475	0.1686	0.2594	0.1577	23	0.0225	3.42
80	0.6712	0.2528	0.1669	0.2632	0.1619	15	0.0155	2.61
90	0.6768	0.2553	0.1656	0.2665	0.1642	11	0.0145	2.48
100	0.6827	0.2622	0.1645	0.2723	0.1645	11	0.0156	2.54

**FUENTE:** Choi y Okos (1986)

### APENDICE 3

#### TABLA DE CALOR ESPECÍFICO DE LOS ALIMENTOS

T (°C)	Specific heat (kJ/kg·°C)					No. of data	Standard error	Standard % error
	Water	Protein	Fat	Carbohydrate	Ash			
20	4.180	1.711	1.928	1.547	0.908	7	0.0614	1.59
30	4.172	1.765	1.953	1.586	0.937	7	0.0794	2.36
40	4.174	1.775	1.981	1.626	0.947	14	0.0681	1.81
50	4.176	1.842	2.004	1.639	0.976	13	0.0698	2.11
60	4.179	1.891	2.036	1.691	1.010	13	0.0702	2.07
70	4.185	1.914	2.062	1.734	1.025	14	0.0867	2.34
80	4.193	1.942	2.098	1.768	1.045	5	0.0943	2.85
90	4.199	1.967	2.124	1.787	1.057	5	0.0987	2.97
100	4.210	1.993	2.141	1.824	1.059	5	0.0972	2.98

FUENTE: Choi y Okos (1986)

## APENDICE 4

### TABLA DE TEMPERATURAS DE INICIO DE CONGELACIÓN DE LOS ALIMENTOS

PROPIEDADES Y CONDICIONES RECOMENDADAS PARA ALMACENAMIENTO DE FRUTAS FRESCAS Y VEGETALES									
Nombre común (Español)	Nombre común (Inglés)	Nombre científico	Temperat. de almace- namiento		Humedad Relativa %	Temperat. máxima de conge- lamiento		Producción de Etileno*	Sensibilidad al Etileno
			° C	° F		° C	° F		
Aceitunas, frescas	Olives, fresh	<i>Olea europea</i>	5- 10	41-50	85-90	-1,4	29,4	Bajo	Moderada
Acelga	Chard	<i>Beta vulgaris</i> var. <i>Cicla</i>	0	32	95-100			Muy Bajo	Alta
Aguacate, Fuchs, Pollock	Avocado cv. Fuchs, Pollock	<i>Persea</i> <i>americana</i>	13	55	85-90	-0,9	30,4	Alto	Alta
Aguacate, Fuerte, Hass	Avocado cv Fuerte, Hass	<i>Persea</i> <i>americana</i>	3-7	37-45	85-90	-1,6	29,1	Alto	Alta
Aguacate, Lula, Booth	Avocado cv. Lula, Booth	<i>Persea</i> <i>americana</i>	4	40	90-95	-0,9	30,4	Alto	Alta
Ají, chiles	Hot peppers, Chiles	<i>Capsicum</i> <i>annuum and C.</i> <i>frutescens</i>	5- 10	41-50	85-95	-0,7	30,7	Bajo	Moderada
Ajo, bulbo	Garlic bulb	<i>Allium sativum</i>	-1- 0	30-32	65-70	-2	28,4	Muy Bajo	Baja
Albahaca	Basil	<i>Ocimum</i> <i>basilicum</i>	10	50	90			Muy Bajo	Alta
Albaricoque	Apricot	<i>Prunus</i> <i>armeniaca</i>	- 0,5- 0	31-32	90-95	-1,1	30	Moderado	Moderada
Alcachofa china	Chinese artichoke	<i>Stachys affinia</i>	0	32	90-95			Muy Bajo	Baja

Arándano	Blueberries	<i>Vaccinium corymbosum</i>	0,5-0	31-32	90-95	-1,3	29,7	Bajo	Baja
Arándano	Cranberry	<i>Vaccinium macrocarpon</i>	2-5	35-41	90-95	-0,9	30,4	Bajo	Baja
Arveja en vaina, arveja china, arveja dulce	Peas in pods; Snow, Snap & Sugar peas	<i>Pisum sativum</i>	0	32	90-98	-0,6	30,9	Muy Bajo	Moderada
Atemoya	Atemoya	<i>Annona squamosa x A. cherimola</i>	13	55	85-90			Alto	Alta
Babaco	Babaco, Mt. papaya	<i>Carica candamarcensis</i>	7	45	85-90				
Banano	Banana	<i>Musa paradisiaca var. sapientum</i>	13-15	55-59	90-95	-0,8	30,6	Moderado	Alta
Berenjena	Eggplant	<i>Solanum melongena</i>	10-12	50-54	90-95	-0,8	30,6	Bajo	Moderada
Berro	Watercress; Garden cress	<i>Lepidium sativum; Nasturtium officinales</i>	0	32	95-100	-0,3	31,5	Muy Bajo	Alta
Berza	Kale	<i>Brassica oleracea var. acephala</i>	0	32	95-100	-0,5	31,1	Muy Bajo	Alta
Bok choy	Bok choy	<i>Brassica chinensis</i>	0	32	95-100			Muy Bajo	Alta
Brócoli	Broccoli	<i>B.oleracea var. Italica</i>	0	32	95-100	-0,6	31	Muy Bajo	Alta
Brócoli chino	Chinese broccoli; Gailan	<i>Brassica alboglabra</i>	0	32	95-100			Muy Bajo	Alta
Calabaza	Pumpkin	<i>Cucurbita maxima</i>	12-15	54-59	50-70	-0,8	30,5	Bajo	Moderada
	Winter squash	<i>Cucurbita</i>							

**FUENTE:**

- The Packer, 2000 produce services sourcebook, Vol. CVI, USA
- [http:// posharvest.ucdavis.edu/](http://posharvest.ucdavis.edu/), marzo de 2002
- [http:// www. Ethylenecontrol.com/](http://www.Ethylenecontrol.com/), marzo de 2002
- Manual de transporte productos tropicales, USDA, Agric. Manual de agricultura No 668. 1987

## APENDICE 5

### TABLA DE COEFICIENTES DE CONVECCIÓN PARA DISTINTOS SISTEMAS DE CONGELACIÓN.

Sistema de Congelación	$h( W . m^{-2} . K^{-1} )$
Congelación en cámara	
Sin aire en movimiento	6
Con débil corriente de aire	10-17
Con alta corriente de aire	12-50
Congelación en túnel con alta velocidad de aire.	35-60
Congelación en lecho fluidizado.	90-130
Congelación en placas múltiples.	600-1200
Congelación por pulverización de nitrógeno líquido	1200-2400
Congelación por inmersión en nitrógeno líquido.	6000

**FUENTE:** (8) 2005

## APENDICE 6

### GRÁFICO PK/STE PARA EL CÁLCULO DE P

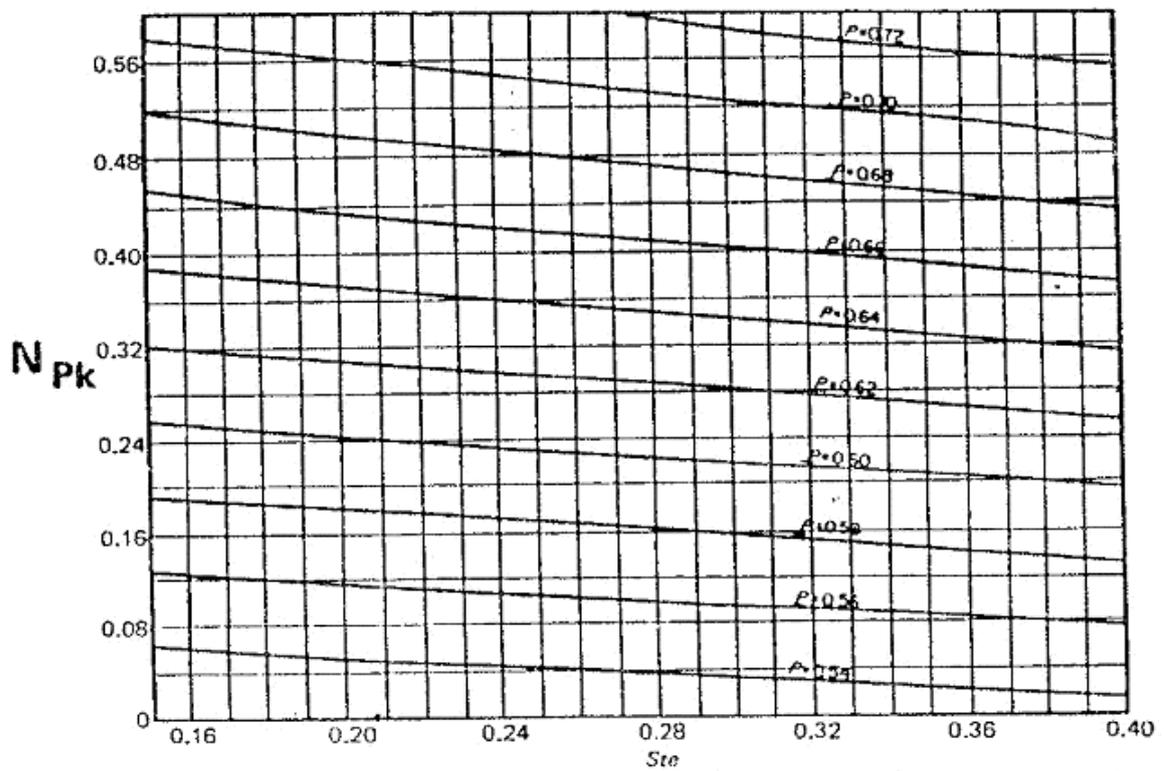


Chart showing the Planck number versus the Stefan number for determination of different values of the empirical modification  $P$ . From Cleland and Earle (1982)

## APENDICE 7

### GRÁFICO PK/STE PARA EL CÁLCULO DE R

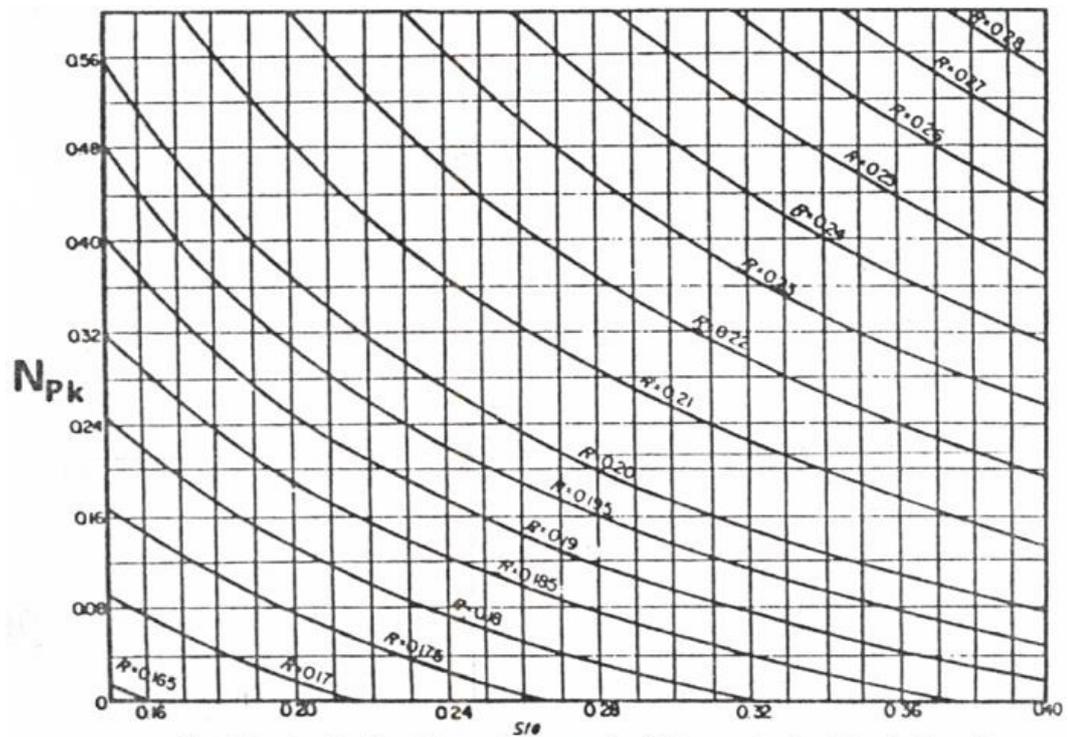


Chart showing the Planck's number versus the Stefan number for determination of different values of the empirical modification  $R$ . From Cleland and Earle (1982).

## BIBLIOGRAFÍA

1. CASP A. Y ABRIL J., Proceso de conservación de los alimentos. Editorial Mundi-Prensa. Madrid – España, 1999.
2. HENDRICKX M. Low temperatura processing of foods, Katholieke Universiteit te Leuven, Belgica, 2003.
3. HODSON W., Maynard “Manual del ingeniero Industrial”, Tomo I. Editorial Mc Graw Hill. México D.F – México, 1996.
4. SINGH PAUL, Introducción a la Ingeniería en Alimentos, Editorial Acribia. Zaragoza-España.
5. www. 1. 2004  
[http://www.superban.gov.ec/downloads/articulos\\_financieros/sector%20banano.pdf](http://www.superban.gov.ec/downloads/articulos_financieros/sector%20banano.pdf)
6. www. 2. 2004  
<http://www.fundacyt.org.ec/paginas/noticias/iniap/banana-flour.doc>
7. www. 3. 2004  
<http://r0.unctad.org/infocomm/anglais/banana/market.htm>

8. [www. 4. 2005](http://www.fundacyt.org.ec/paginas/noticias/iniap/banana-flour.doc)  
[www.fundacyt.org.ec/paginas/ noticias/iniap/banana-flour.doc](http://www.fundacyt.org.ec/paginas/noticias/iniap/banana-flour.doc)
  
9. [www. 5. 2005](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm)  
[www.infoagro.com/frutas/frutas\\_tropicales/platano.htm](http://www.infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/platano.htm)
  
10. [www. 6. 2005](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4100010/Lecciones/Cap1/bases_tecnicas.htm)  
Universidad Nacional de Colombia  
[www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4100010/Lecciones/Cap1/bases tecnicas.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4100010/Lecciones/Cap1/bases_tecnicas.htm)
  
11. [www. 7. 2005](http://www.iqf.se)  
[www.iqf.se](http://www.iqf.se)
  
12. [www. 8. 2005](http://www.cci.org.co/Manual20%del20%Exportador/Conservac-empaquetras/Transpack09.htm)  
[www.cci.org.co/Manual20%del20%Exportador/Conservac-empaquetras/Transpack09.htm](http://www.cci.org.co/Manual20%del20%Exportador/Conservac-empaquetras/Transpack09.htm)