



**Universidad Austral de Chile**

Escuela de Ingeniería en Alimentos

**Contribución al Desarrollo de Herramientas para  
el Sistema Integrado de Gestión en la Industria de  
Alimentos**

Memoria presentada como parte de los  
requisitos para optar al título de  
Ingeniero en Alimentos

**Marithza Andrea Arce Jara**

Valdivia – Chile

2007

PROFESOR PATROCINANTE:

---

Sr. Erwin Carrasco Ruiz  
Ingeniero Civil Químico  
Instituto de Ciencia y Tecnología de los  
Alimentos (ICYTAL)

PROFESORES COPATROCINANTE:

---

Sr. Fernando Emilio Figuerola Rivas  
Ingeniero Agrónomo, Master of Science in  
Food Science  
Instituto de Ciencia y Tecnología de los  
Alimentos (ICYTAL)

PROFESOR INFORMANTE:

---

Sr. Bernardo Carrillo  
Ingeniero Agrónomo, Master en Ciencias e  
Ingeniería en Alimentos  
Instituto de Ciencia y Tecnología de los  
Alimentos (ICYTAL)

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por los padres tremendos que tengo, quienes siempre han velado por mi y mis hermanos por darnos siempre lo mejor.*

*A mi familia, mi Nina y abuelitos, quiénes supieron motivarme y darme el apoyo necesario para cumplir esta meta*

*A Marco Antonio, quien ha sido mi amigo y compañero fiel en mi vida.*

*A mi segunda familia, los Garrido Montero quienes, desde el primer momento me acogieron en su casa con mucho cariño e incondicionalidad*

*A Cynthia Garrido y Marcela Ojeda, amigas que Dios ha puesto en mi camino.*

## INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
1	INTRODUCCIÓN	1
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1	Instrumentos de gestión	3
2.2	Balance de masa	4
2.3	Control de proceso	4
2.4	Tratamiento de los datos experimentales	6
2.4.1	Modelo de propagación de errores	7
3	MATERIAL Y MÉTODO	8
3.1	Lugar de ejecución	8
3.2	Datos de análisis	8
3.3	Herramientas	9
3.4	Método	9
3.4.1	Corrientes de alimentación	9
3.4.2	Defectos de la materia prima	10
3.4.3	Sólidos solubles	10
3.4.4	Humedad	12
3.4.5	Temperatura	12
4	PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	13
4.1	Línea de producción para maíz congelado	13
4.1.2	Descripción del proceso	16
4.2	Balance de masa, por ciclo de congelación	19

4.2.1	Sistemas que constituyen la línea de producción del maíz congelado en grano	19
4.3	Análisis de los datos correspondientes a la temporada de proceso	33
4.3.1	Análisis de rendimiento por variedad utilizada en la industria de maíz congelado	33
4.3.2	Análisis de la calidad de la materia prima que llega al proceso	37
4.3.3	Evaluación de los flujos de alimentación por sistemas	39
4.4	Evaluación de los parámetros de trabajo del equipo escaldador, hidrocooler y congelador IQF.	54
5	CONCLUSIONES	73
6	RESUMEN SUMMARY	75
7	BIBLIOGRAFÍA	77
	ANEXOS	

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1	Defectos evaluados en la materia prima	11
2	Corriente 1, alimentación de las mazorcas completas al proceso	21
3	Corriente 9, hojas y restos vegetales propios de la planta de maíz	21
4	Corriente 2, mazorcas sin materia vegetal	22
5	Corriente 10, mazorcas con defectos	22
6	Corriente 3, mazorcas sin defectos	23
7	Corriente 11, olores mas lechada	23
8	Corriente 4, granos de maíz	24
9	Corriente 5, granos separados por densidad	25
10	Corriente 13, granos rotos separados por densidad	26
11	Corriente 6, granos escaldados	27
12	Corriente 14, agua condensada del escaldador	28
13	Corriente 7, granos fríos	29
14	Corriente 15, agua del equipo de hidrogenfriado	29
15	Corriente 8, granos congelados	30
16	Corriente 16, mermas en el proceso de congelación	31
17	Indicadores de proceso	32
18	Análisis respecto al contenido de humedad	33
19	Análisis de significancia de las distintas variedades respecto a su contenido de humedad.	34
20	Grados de calidad, respecto a contenido de humedad de la materia prima	34
21	Análisis respecto al contenido de sólidos solubles	35
22	Análisis de significancia de las distintas variedades respecto a su contenido de sólidos solubles	35

23	Análisis de las variedades de maíz respecto a su rendimiento	35
24	Análisis de significancia del rendimiento entre las variedades de maíz	36
25	Evaluación de frecuencias para la humedad de la materia prima	39

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Diagrama de flujo del proceso de “Elaboración de maíz congelado en grano” y puntos de control	14
2	Sistema P-100. Desgranado de las mazorcas	20
3	Sistema P – 200. Sistema de separación por densidad	25
4	Sistema P – 300. Sistema de escaldado	26
5	Sistema P – 400. Sistema de enfriado	28
6	Sistema P – 500. Equipo IQF	30
7	Evaluación de las variedades, en función a su contenido de humedad, sólidos solubles y rendimiento en el proceso por variedad	36
8	Gráfico de normalidad de los datos de humedad de la materia prima en la temporada	38
9	Histograma para la distribución de los datos en que se relaciona la humedad con la densidad	38
10	Gráfico de normalidad de los datos de flujo de alimentación al proceso, Sistema P – 100	40
11	Gráfico X – barra, de evaluación del flujo de alimentación del proceso, que demuestra que opera bajo control estadístico	41
12	Gráfico S – barra, evaluación del flujo de alimentación del proceso, respecto a la desviación estándar de los subgrupos	42
13	Curva OC, curva característica de operaciones para el flujo de alimentación del proceso	43
14	Probabilidad de alarma entre los límites para el flujo de alimentación, si la media pasa a ser 9840,48 kg/h	44
15	Gráfico de normalidad de los datos de flujo de alimentación al Sistema P – 300, escaldador	45
16	Gráfico X – barra; de los flujos de alimentación del escaldador.	46
17	Gráfico S – barra, evaluación del proceso respecto a la	47



	desviación estándar de los subgrupos	
18	Curva OC, curva de característica de operación para el flujo de alimentación del escaldador	48
19	Probabilidad de alarma entre los límites, si la media del flujo de alimentación del escaldador pasa a ser 1923,85 kg/h	49
20	Gráfico de la normalidad de los datos de flujo de alimentación al equipo IQF	50
21	Gráfico X – barra, de los flujos de alimentación al equipo IQF.	51
22	Gráfico S- barra, de los flujos de alimentación del equipo IQF, respecto a la desviación estándar de los subgrupos	52
23	Curva OC, curva característica de operación para el flujo de alimentación del equipo IQF	52
24	Probabilidad de alarma entre los límites si la media para el flujo de alimentación del equipos IQF pasa a ser 4921,82 kg/h	53
25	Gráfico de normalidad de los datos de la temperatura del vapor en el equipo escaldador	54
26	Curva de distribución para la temperatura del escaldador.	55
27	Gráfico X – barra. Temperatura del vapor del equipo escaldador	56
28	Gráfico S – barra. Temperatura del vapor del equipo escaldador, respecto a la desviación estándar de los subgrupos	56
29	Gráfico de normalidad para temperatura de escaldo del maíz.	57
30	Gráfico X – barra para temperatura del maíz escaldado	58
31	Gráfico S – barra para la temperatura del maíz escaldado, respecto a la desviación estándar de los subgrupos	58
32	Diagrama de capacidad de proceso, para la temperatura de escaldado de los granos de maíz.	60
33	Gráfico de distribución de los datos respecto a la temperatura del agua del equipo hidrocooler	61
34	Gráfico X – barra para la temperatura del agua de enfriado del equipo hidrocooler	61

35	Gráfico S – barra para la temperatura del agua de enfriado del equipo hicrocooler, respecto a la desviación estándar de los subgrupos	62
36	Capacidad de Proceso para la temperatura del agua de enfriado del equipo hidrocóoler	63
37	Gráfico de distribución de los datos correspondientes a la temperatura de los granos de maíz enfriados	64
38	Gráfico X – barra para la temperatura de los granos enfriados	64
39	Gráfico S – barra para los datos de temperatura de los granos enfriados, respecto a la desviación estándar de los subgrupos	65
40	Análisis de capacidad de proceso para la temperatura del grano de maíz frío	66
41	Gráfico de probabilidad de los datos para la temperatura de trabajo del equipo de congelación IQF	67
42	Gráfico X – barra para la temperatura de trabajo en el equipo de congelado IQF	67
43	Gráfico S – barra para la temperatura de trabajo en el equipo de congelado IQF, respecto a la desviación estándar de los subgrupos	68
44	Capacidad del proceso, de acuerdo a la temperatura de trabajo del equipo de congelador IQF	69
45	Gráfico de distribución de los datos de la temperatura de los granos de maíz congelados	70
46	Gráfico X – barra de la temperatura de los granos congelado	70
47	Gráfico S – barra para la temperatura de los granos congelado, respecto a la desviación estándar de los subgrupos	71
49	Capacidad del proceso, respecto a la temperatura de los granos de maíz congelados	72

## 1 INTRODUCCIÓN

El entorno actual, de constante competitividad, hace necesaria una visión de empresa enfocada a la excelencia. Es esta competitividad que lleva a aplicar en forma sistemática todos los esfuerzos para mantener o mejorar la situación de la empresa en el mercado, generando o manteniendo aquella serie de atributos que la diferencian de su competencia.

Toda organización está constituida por sistemas y subsistemas que interactúan entre sí bajo una relación estrecha y activa, con los que elabora gran número de cálculos y estadísticas relacionadas con sus operaciones, a fin de mantenerse constantemente informados de su funcionamiento.

El Control de Gestión se nutre de estos datos y se presenta como una herramienta que aplica mejoras basándose en el principio de simples expresiones aritméticas que integran cada uno de estos subsistemas como un “todo” íntimamente relacionados y sobre los cuales se debe mantener estrecha gestión.

Bajo este criterio ningún hecho o acontecimiento puede ser considerado autónomo, como absoluto en valor, o desligado de la economía total de la empresa. Todo acontecimiento se ve afectado por otros acontecimientos o influye en ellos. Actuar sobre la base de acontecimientos aislados da como resultado una gestión inadecuada.

El objetivo de una buena gestión se basa en reconocer al instante los hechos cuando estén ocurriendo y no sobre hechos ocurridos y evaluar con prontitud y precisión los resultados, presentando los beneficios, costos y repercusiones que sus decisiones tendrán en otros sectores y en la totalidad de la empresa.

El control de gestión debe proporcionar un instrumento objetivo para actuar, aconsejar, adoptar decisiones, planificar, evaluar y controlar. La toma de decisiones exige evaluaciones meticulosas y dinámicas de las relaciones existentes entre los datos y los acontecimientos. La gestión ha de llevarse sobre la base de datos concretos, no de promedios, y no después de que los acontecimientos hayan ocurrido, sino mientras ocurren.

En base a lo expuesto, la hipótesis que se propone, es probar que si se presta atención al proceso es posible inferir y diseñar algunas herramientas útiles para ser incorporadas en un Sistema Integrado de Gestión; por lo cual se plantea el siguiente objetivo general:

- ❖ Evaluar controles útiles para un Sistema Integrado de Gestión, que se puedan deducir del balance de masa, de la línea de producción de maíz grano congelado.

Además de establecer el objetivo general, se señalan los siguientes objetivos específicos:

- ❖ Presentación del diagrama optimizado de proceso.
- ❖ Realizar un balance de masa de la corriente principal del proceso.
- ❖ Realizar un tratamiento estadístico, elaborar cartas de control que sirvan de apoyo a la mejora continua de un Sistema Integrado de Gestión.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Instrumentos de gestión

La gerencia de una empresa requiere datos inmediatos y fieles a la vez que ponderados en su realidad económica. Cuando se analiza un hecho en particular se debe reconocer lo que este hecho realmente significa, cuál es su impacto sobre la empresa y qué valor posee para medir o evaluar una circunstancia.

El control de la gestión constituye un sistema de sondeo y predicción de las relaciones entre causa y efecto, el que ajustándose a los requerimientos, está al servicio de la empresa en base al control de los tres sectores más importantes: la producción, las ventas y el capital; áreas comunes a la mayoría de las empresas industriales.

El sistema completo para la evaluación, control y adopción de decisiones a nivel de la dirección general de la empresa, tan sólo se posibilitará, una vez los datos procedentes de las tres áreas indicadas hayan sido integrados.

No obstante, antes de que puedan establecerse una serie de ratios, o cualquier otro tipo de control, han de obtenerse datos, que deben ser reunidos y ordenados.

En cualquier empresa se suceden hechos e incidencias, y sean cuales fueren sus orígenes o sus características, repercuten en grado diverso en la economía de la misma. Paralelamente al registro de tales hechos e incidencias, se desarrolla la constante actividad de la dirección para producir ingresos, operar con rentabilidad, mantener la salud financiera y procurar el progreso.

## **2.2 Balance de masa**

El Balance de masa se basa en la conservación de la materia. De acuerdo a ello, en un sistema cualquiera, las entradas son iguales a las salidas. El diagrama de flujo es el punto de partida para efectuar un balance de masa.

A través del balance de masa, no sólo se tiene una mejor comprensión de lo que ocurre con las entradas y salidas, sino también permite identificar el origen de los residuos y mermas, que de otra manera, pasarían desapercibidas. La importancia que tiene el contabilizar la masa de los residuos es el aspecto económico, debido a que las pérdidas significan costos. El cuantificar los residuos, es el primer paso para su minimización. Los pasos siguientes son la identificación de los problemas asociados a los residuos, las oportunidades de mejora. (McCabe, **et al.**, 1991)

La cuantificación de las masas correspondiente a todas las salidas del proceso y de cada una de las operaciones unitarias, requieren del registro detallado de las cantidades del producto, los subproductos, los residuos reutilizables o reciclables, las aguas residuales, los efluentes gaseosos y los desechos sólidos que necesitan ser almacenados y/o enviados fuera de la planta para su disposición final (VALENTAS, **et al.**, 1997).

Contar con información detallada como las especificaciones de trabajo de cada uno de los equipos del proceso; capacidad, características de construcción, condiciones de trabajo, la información de cada uno de los equipos del proceso, equipos auxiliares así como de las características propias de la materia prima, es fundamental para el funcionamiento óptimo de la línea de producción.

## **2.3 Control del proceso**

A partir de los balances de masa y energía se pueden elaborar ratios que representen valores críticos de producción y calidad, para lo cual se emplean diagramas, análisis estadísticos en el control de la calidad, gráficos de control de Shewhart, gráficos de Pareto, análisis de varianza entre otras.

Todo proceso industrial, no siempre funciona de forma exacta, lo cual da lugar a cierta variabilidad, cuyas causas es importante evaluar. La variabilidad de un proceso puede deberse a causas aleatorias y no aleatorias. Las primeras, son de naturaleza probabilística y forman parte de la variación propia del proceso. Algunas de las razones por las que aparecen estas causas son: variabilidad de la materia prima, variabilidad debida a la maquinaria, distinta eficacia de la mano de obra, etc.

Las no aleatorias, dan lugar a variaciones irregulares no predecibles, que hay que eliminar y corregir ya que cuando actúan producen efectos que se pueden determinar con certeza y que persisten hasta que se elimine la causa que los produce, por ejemplo: el desgaste de la máquina, herramientas en mal estado, etc. (CHASE, **et al.**, 2001)

De esta manera, los gráficos de control son una excelente herramienta, pues permiten decidir cuando hay que intervenir en el proceso para modificar una evolución no deseada.

El gráfico de control representa un proceso en el tiempo, enmarcado en los límites de funcionamiento del proceso. Si el proceso está bajo control, no tendrá ningún punto fuera de los límites establecidos; en caso contrario si un punto cae fuera de dichos límites se interpreta como una evidencia de que el proceso está fuera de control.

Es así como un gráfico de control se puede plantear como un contraste de hipótesis en el sentido siguiente:

H0: El proceso se encuentra bajo control estadístico

H1: El proceso se encuentra fuera de control estadístico

Según la característica que se desea observar, los gráficos de control se agrupan en dos grandes bloques: gráficos de control para variables, cuando la característica sea cuantitativa y gráficos de control para atributos, en caso de ser cualitativa. Si la característica de calidad es una variable, el control del proceso es equivalente a controlar la media y la desviación de la misma.

Los gráficos  $R - \bar{X}$  se utilizan para controlar dos parámetros básicos de un proceso: la media y la dispersión. Para determinar si un proceso está o no bajo control conviene utilizar los dos gráficos conjuntamente. El procedimiento correcto es el siguiente:

- Se construye el gráfico de rangos (también denominado gráfico de recorridos o gráfico de amplitudes), gráfico  $R$ , para comprobar si la variación del proceso está bajo control.
- Una vez que la dispersión está en control estadístico se construye el gráfico de medias o gráfico  $X$ . Si los parámetros  $\mu$  y  $s$  son desconocidos, hay que estimarlos a partir de la información muestral. Para llegar a las estimaciones definitivas, se realizan los cambios oportunos, se eliminan los posibles puntos que estén fuera de control y se recalculan los límites, hasta conseguir que el proceso esté bajo control.

#### **2.4 Tratamiento de los datos experimentales**

Es importante señalar que para la toma de muestras, a pesar de que se utilicen los métodos más cuidadosos para medir y los instrumentos más exactos, no se podrá encontrar la medida exacta de lo que se va a medir. Toda medida va acompañada de una incerteza o error, dadas las imperfecciones del instrumento de medida y las limitaciones de nuestros sentidos. Sin embargo, es muy importante su estimación para establecer conclusiones experimentales; la incerteza determina la calidad y los límites de validez de la medida.

Esta incerteza puede ser directa sobre la medida de una variable, o indirecta, es decir, obtenida por medio de los valores medidos de otras variables ligadas con la variable problema, mediante una fórmula matemática. Lo que se procura en toda medición es conocer los límites probabilísticos de las incertezas, para establecer un intervalo donde con cierta probabilidad se pueda decir que se encuentra el mejor valor o valor más probable de la variable, Ecuación 1.

$$\bar{X} - \Delta X \leq \bar{X} \leq \bar{X} + \Delta X \quad \text{Ec.1}$$



Los errores o incertidumbres se clasifican en:

- **Errores sistemáticos.**
- **Errores casuales.**
- **Errores ilegítimos.**

**2.4.1 Modelo de propagación de errores.** Se parte de las variables medidas con su respectiva incertidumbre

$$x, y, z, \dots, \Delta x, \Delta y, \Delta z \quad \text{Ec.2}$$

Basándose en resultados proporcionados por el cálculo diferencial, cuando se tiene una función  $w(x, y, z)$  dependiente de estas variables, su variación estaría dada por:

$$\Delta w = \frac{\partial w}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial w}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial w}{\partial z} \Delta z + \dots \quad \text{Ec. 3}$$

El problema de esta relación para estimaciones de incertidumbre en medidas de cantidades físicas radica fundamentalmente en que existe una gran probabilidad de que este cálculo arroje valores negativos, lo cual sería difícil de interpretar y aceptar físicamente. En vez de ello, se asume una postura diferente. Basándose en el hecho de que las medidas son mutuamente independientes, es posible darles un tratamiento similar a los vectores, basándose en el teorema de Pitágoras, así:

$$\Delta w = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2 + \dots} \quad \text{Ec. 4}$$

y de nuevo, haciendo uso de la regla de la cadena se tiene :

$$\Delta w = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \Delta y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \Delta z\right)^2 + \dots} \quad \text{Ec. 5}$$

La cual constituye la fórmula general para el modelo de propagación de errores, donde se ve claramente el carácter siempre positivo de la incertidumbre.

## **3 MATERIAL Y MÉTODO**

### **3.1 Lugar de ejecución**

Trabajo desarrollado como practica vinculada en el Instituto de Ciencias y Tecnología de los Alimentos (ICYTAL) de la Universidad Austral de Chile, en base a los datos disponibles a partir de la línea de producción de maíz congelado en grano, en una agroindustria de congelados de la zona central del país. El nombre de la empresa, no se da a conocer por razones de confidencialidad.

### **3.2 Datos de análisis**

Los datos utilizados en este proyecto son valores medidos in-situ en la línea de producción. Los datos del proceso, son medidos de manera tal, que representarán la temporada de producción de los meses de Febrero a Abril, así también ser representativos para un ciclo de congelación.

Las variedades comerciales de maíz, procesadas en esta temporada corresponde a HMX7384, GH2757, DYNAMO, DIAMANTE, KRISPYKING, TORO, FRESHY, ENTERPRICE, UY0712, UY0721, BUTTER 600, GH2041 y 6800.

Los parámetros de proceso corresponden a:

- Flujos de alimentación de entrada y salida en todos los equipos que constituyen la línea de producción.
- Temperatura de la materia prima en la entrada y salida del equipo escaldador, de hidrogenfriado e IQF.
- Concentración de sólidos solubles de la materia prima, en el transcurso del proceso.
- Porcentaje de defectos y daños de la materia prima.
- Porcentaje de materia vegetal propia de la materia prima.

### 3.3 Herramientas

- Técnicas de representación de proceso, diagrama de flujo. Software SmartDraw 7.0.
- Técnicas de balance de masa con invariantes.
- Herramientas estadísticas y evaluación de datos; cartas de control de Shewhart, estimación de errores e incertidumbre, ANDEVA.
- Software Statgraphics Plus versión 5.1 y Microsoft Excel versión 7.0.

### 3.4 Método

Se cuenta con una gran variedad de datos los cuales son agrupados de manera tal de obtener la mayor información posible del proceso y de la materia prima, por medio del análisis estadístico de estos datos.

**3.4.1 Corrientes de alimentación.** La línea de producción de maíz congelado en grano, funciona por sistema batch. Un ciclo completo de producción, esta determinado por la duración del ciclo de congelación del equipo IQF, el cual dura aproximadamente 4 horas. Para determinar el balance de masa de un ciclo de congelación, se contará con 80 datos, de cada punto de control que corresponde a:

- Flujo de alimentación al equipo de deshojado.
- Flujo de alimentación a la cinta de selección.
- Flujo de alimentación a las desgranadoras.
- Flujo de alimentación al equipo de separación por flotación de restos vegetales.
- Flujo de alimentación al equipo escaldador.
- Flujo de alimentación al equipo de hidrogenfriado
- Flujo de alimentación al equipo de congelado IQF.
- Flujo de salida de producto congelado.

En base a los flujos medidos en los distintos puntos del proceso, se desarrolló el balance de masa, por ciclo de congelación.

Se realizó análisis estadísticos a los flujos de alimentación medidos, con el fin de evaluar si el equipo estaba trabajando bajo control estadístico, para lo cual se utilizó como referencia la capacidad por equipo que maneja la empresa en cuestión.

Se contó además, con una población de 484 datos correspondientes a los valores de kilos de entrada de la materia prima y kilos de salida de producto congelado, por día de producción, estos datos fueron evaluados estadísticamente, para determinar rendimientos de materia prima, mermas en el proceso, posibles diferencias entre las variedades de la materia prima.

**3.4.2 Defectos de la materia prima.** Se evaluó una población de 484 datos, correspondientes a igual número de lotes de materia prima recepcionada en la planta. Así se contabilizó el porcentaje de defectos presentes en la materia prima, respecto al muestreo establecido en el laboratorio de materias primas de la empresa en la cual se desarrolló el estudio. Los factores evaluados corresponden a los señalados en el CUADRO 4.

**3.4.3 Sólidos solubles.** La concentración de sólidos solubles se determinó con refractómetro digital ATAGO PAL -91S. Las mediciones se realizaron en el proceso continuo evaluándose cada 15 minutos en los puntos de control del proceso. Los resultados fueron reportados en °Brix (% sólidos solubles).

Punto de control, para los sólidos solubles:

- Materia prima
- Agua utilizada para la separación por flotación
- Granos de maíz a la salida del separador por flotación
- Agua de condensado en el escaldador
- Granos de maíz escaldados
- Agua de enfriado
- Granos de maíz enfriados
- Granos de maíz congelados

**CUADRO 1 Defectos evaluados en la materia prima.**

<b>Defecto</b>	<b>Factor</b>	<b>Descripción</b>
Factor materia extraña	ME1	Presencia de materia inorgánica en pequeñas o gran cantidad, que transforman al producto en un alimento inseguro y/o insaludable (Ej. vidrio, fecas etc.)
Factor daño	Daño insectos, aves, otros	Maíz alterado o perforado por insectos, aves y otros animales.
	Hongo y/o pudrición	Daño patológico, desintegración o fermentación de los tejidos del maíz, causados por diferentes agentes patógenos.
	Carboncillo <sup>1</sup>	Mazorcas con daño provocado por hongo, presentando agallas con esporas oscuras.
Factor defecto	Bajo calibre	Unidades menores a 10.5 cm. de largo.
	Deshidratación	Granos de maíz con una textura muy dura, arrugados, resecos, la apariencia se ve afectada.
	Mala polinización	Mazorcas que no presentan desarrollo de granos.
	Desorden fisiológico	Mazorcas que no presentan un orden lineal de los granos, solo se considera el defecto cuando están comprometidas más de 3 hileras.
	Daño cosecha	Mazorcas que presentan daños, generalmente de tipo corte transversal.
Factor madurez	Inmadurez	Mazorcas con granos lechosos (blancos y transparentes)
Factor materia vegetal	Materia vegetal extraña	Materia vegetal distinta que no es parte del maíz, tales como: semillas, hojas u otros similares.
	Materia vegetal propia	Materia vegetal propia del maíz, específicamente a cañas y hojas sobrantes de la mazorca.

<sup>1</sup> El carbón común es una enfermedad del maíz producida por el agente patógeno *Ustilago maydis*, cuyo síntoma es la aparición de una agalla la que está constituida por esporas del hongo y por células gigantes del órgano afectado (hipertrofia). Fuente: Santibáñez F. Plagas y enfermedades en Hortalizas. Agrimed. 2006.

**3.4.4 Humedad.** La humedad se usa como parámetro para determinar el grado de calidad que se le da a la materia prima. Se determinó por gravimetría, según Norma AOAC.

**3.4.5 Temperatura.** Se dispuso con una población de datos, los cuales se utilizan para evaluar el funcionamiento de las operaciones unitarias de escaldado y congelación.

**Instrumento:**

- Termómetro digital, de pincho, modelo UEI PDT-550, USA.
- Precisión:  $\pm 1^{\circ}\text{C}$

Para lo cual se evalúan los siguientes datos:

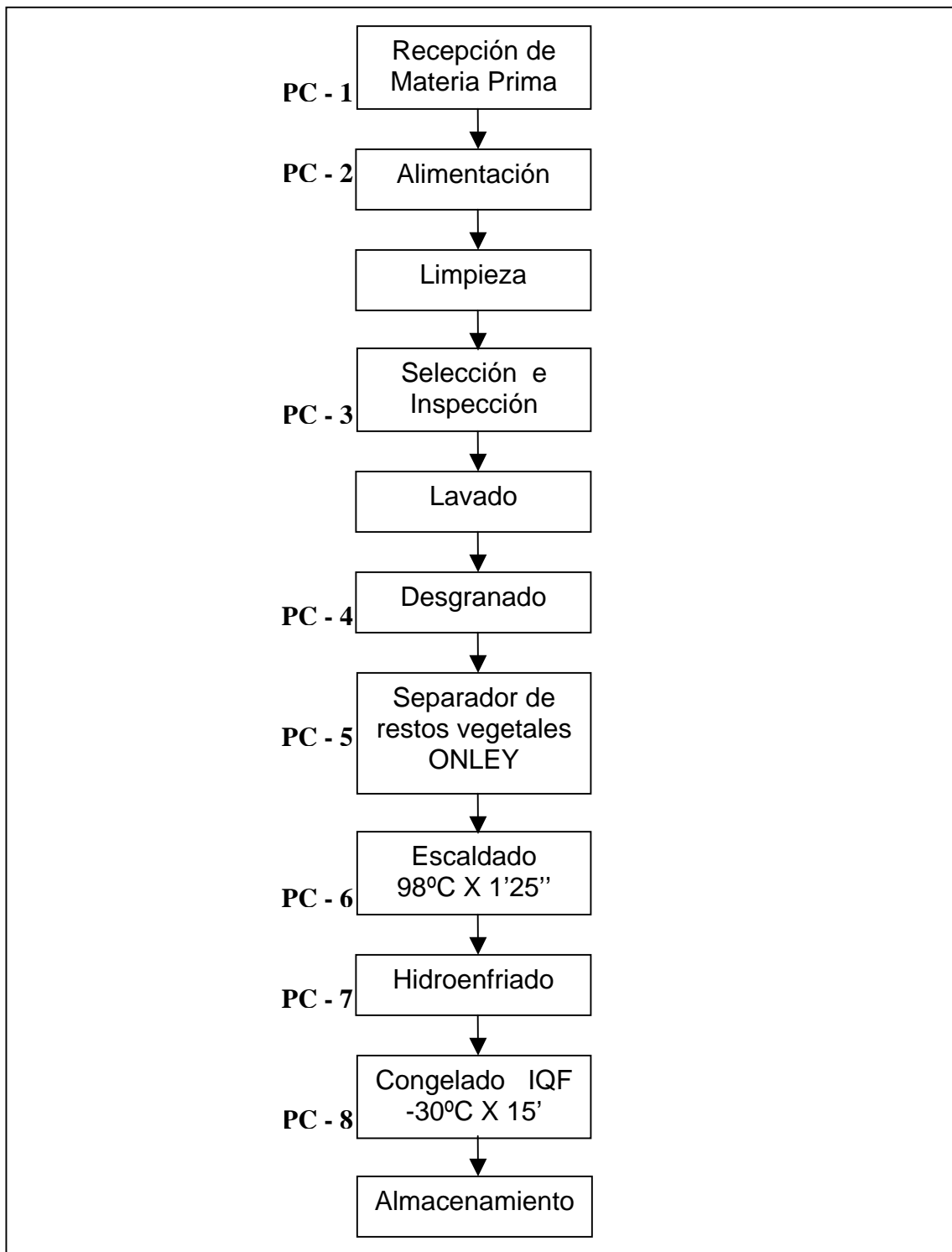
- Temperatura del equipo escaldador
- Temperatura de los granos de maíz escaldados
- Temperatura del equipo IQF
- Temperatura de los granos congelados

## 4 PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 4.1 Línea de producción para maíz congelado.

La presentación y evaluación de los datos muestreados en el proceso de elaboración de maíz congelado en grano, se presenta bajo la estructura del sistema de producción. A continuación se presenta la descripción de las operaciones unitarias necesarias para lograr el producto. Continuando con todos los requerimientos que involucran las características de la materia prima y condiciones operacionales del proceso para obtener el producto.

En la FIGURA 2 se presenta el diagrama de flujo del proceso, junto a los puntos de control; que indican los puntos del proceso y parámetros muestreados.



**FIGURA 1** Diagrama de flujo del proceso de “Elaboración de maíz congelado en grano” y Puntos de Control.



***Puntos de control del proceso.***

**PC – 1:** Inspección por factores de calidad. Daños señalados en CUADRO 4  
Concentración de sólidos solubles

**PC – 2:** Flujo de alimentación

**PC – 3:** Flujo de alimentación

**PC – 4:** Flujos de granos  
Concentración de sólidos solubles en los granos de maíz

**PC – 5:** Flujos de granos  
Concentración de sólidos solubles en los granos de maíz  
Concentración de sólidos solubles en el agua

**PC – 6:** Flujo de alimentación  
Flujo de granos escaldador  
Concentración de sólidos solubles en los granos de maíz escaldados  
Concentración de sólidos solubles, agua de condensado  
Temperatura del equipo escaldador  
Temperatura de los granos escaldado. Límite crítico:  $\geq 80^{\circ}\text{C}$ .

**PC – 7:** Flujo de alimentación  
Flujo de granos fríos  
Concentración de sólidos solubles en granos de maíz enfriados  
Concentración de sólidos solubles en agua de enfriado  
Temperatura de los granos enfriados. Límite crítico  $\leq 25^{\circ}\text{C}$ .  
Temperatura del agua de enfriado  $\leq 10^{\circ}\text{C}$ , agua del equipo

**PC – 8:** Flujo de alimentación  
Temperatura de los granos de maíz en la entrada  
Temperatura de los granos de maíz congelados. Límite crítico:  $- 15^{\circ}\text{C}$ .  
Temperatura del equipo IQF. Límite crítico:  $- 25^{\circ}\text{C}$  para el equipo IQF

**4.1.2 Descripción del proceso.** A continuación se presenta la descripción de las operaciones necesarias para la elaboración del maíz congelado en grano; en específico para la línea de producción en estudio.

- **Recepción de materia prima.** El producto llega a la planta en tolva o bins. Este se pesa y es analizado según las especificaciones técnicas de calidad establecidas. De acuerdo a la capacidad productiva de la línea, el producto es procesado de inmediato. La llegada de la materia prima debe ser estrictamente coordinada con el área agrícola de la empresa, con el objetivo de mantener una alimentación continua de la cadena de producción y así minimizar el tiempo de espera de la materia prima, a fin de evitar alteraciones en la calidad.  
Si el maíz entrara en la línea de fabricación inmediatamente después de su recolección, las transformaciones serían mínimas. Sin embargo, industrialmente esto no suele ser posible, y es por ello necesario establecer condiciones de transporte y almacenamiento adecuadas.
- **Limpieza.** El producto es vaciado a la línea en la cual pasa por las siguientes etapas de limpieza:
  - a) Retiro manual de elementos fácilmente visibles: Ramas y piedras.
  - b) Retiro mecánico mediante ventilación forzada de restos vegetales livianos.
- **Lavado de la materia prima.** Limpieza con agua clorada (>60ppm de cloro libre residual) a presión para el retiro de barro, piedras y suciedad en general.
- **Selección e inspección.** Selección manual del producto en cinta, retirando la materia extraña y defectos presentes.
- **Desgranado.** La desgranadora de maíz es la máquina que separa el grano del resto de la mazorca. Esta operación esta calibrada para trabajar con un rango de diámetro de la mazorca entre 10,5 y 14 cm.

- **Separador de resto vegetal.** Se realiza la separación de restos vegetales por diferencia de densidades sacando a reflote granos rotos y resto de hollejos. Básicamente es un estanque de acero inoxidable el cual se llena con aproximadamente 100 litros de agua potable pura, la cual se recambia en cada ciclo de congelación de proceso.
- **Escaldado.** La operación se puede realizar por vapor directo o por inmersión progresiva en agua caliente por un tiempo de 1' 10" a 1' 25" (dependiendo de su madurez) a una temperatura aproximada de 98°C. El escaldado en vapor, es más rápido y en consecuencia más barato, tiene la ventaja de que puede hacerse un escaldado selectivo, es decir, dar diferentes tiempos de acuerdo al grado de madurez que tenga la materia prima.  
El escaldado por inmersión en agua, en particular el que se realiza por cargas es más uniforme que el de vapor. Si esta inmersión se realiza progresivamente se consigue mejor calidad del producto final. (GRUDA y PASTOLSKI, 1993).  
Para el caso del grano de maíz se aconseja la realización del escaldado con vapor directo, ya que las pérdidas de sólidos solubles en etapa pueden ser considerables además que involucra un cierto ahorro energético. (ESPAÑA, INSTITUTO INTERNACIONAL DEL FRIO, 1990)

*Objetivos del escaldado* (GRUDA y PASTOLSKI, 1993):

- Desactivación de las enzimas, que están en forma natural, con lo que se evita que se produzcan reacciones que conducirían a cambios de sabor, color y valores nutritivos.
  - Eliminación de gases ocluidos (gases celulares)
  - Disminución de la carga microbiana (contaminación inicial).
- **Hidrogenfriado.** Luego del escaldado el maíz se debe enfriar rápidamente, ya que el producto en caliente puede sufrir con gran rapidez diversas alteraciones que se traducen en una pérdida de calidad. (MALLETT, 1993). El producto se enfría mediante una cinta transportadora con una ducha por aspersion de

agua fría llegando a una temperatura de producto aproximada de 22° C al final de la cinta. Es importante que el producto esté lo más frío posible para aumentar la eficacia del equipo de congelación.

- **Congelado IQF.** El producto se traslada de un elevador a una cinta transportadora de túnel continuo de congelación. El producto tiene una permanencia en el túnel de aproximadamente 10 a 15 minutos obteniéndose una temperatura de producto de acuerdo a las condiciones del flujo de alimentación, de aproximadamente -18°C en el centro térmico del producto. Para la congelación, como una etapa posterior al hidrogenfriado, es importante que el producto llegue escurrido del agua, lo cual se consigue situando una corriente de aire para evitar la humedad excesiva en el túnel de congelado, que se depositaría en forma de escarcha sobre las unidades de enfriado del equipo IQF.

La congelación IQF. Consiste en una congelación por aire frío, en este equipo el alimento se congela rápidamente por contacto con una corriente de aire frío a - 35°C/-45°C aproximadamente. El producto pasa por una cinta transportadora perforada, con la velocidad del aire frío, el producto queda suspendido formando un lecho fluidizado. Este sistema es ideal para congelar maíz en grano ya que tiene la geometría ideal para la fluidización además de ser muy liviano lo cual lo hace un proceso rápido y eficiente (BARBOZA *et al.*, 2005).

- **Almacenamiento.** Una vez congelado el producto cae a un bins de madera o plástico, el cual lleva una bolsa de polietileno cubriendo completamente el producto.

El bins es trasladado y guardado en cámaras previo pesado y tarjado, las cámaras deben tener una temperatura mínima de -18°C.

La calidad del alimento una vez congelado dependerá de varios factores:

- Escaldado. Cuanto más eficaz sea éste, menor será la actividad enzimática residual y por consiguiente más lenta las reacciones de degradación.

Temperatura: La influencia de este factor se mide por el concepto de Q10. Este valor para la alteración de la calidad tiene un valor superior a 2. (MALLETT, 1993)

- Velocidad de congelación. En el curso del almacenamiento puede reducirse la deshidratación manteniendo una humedad relativa lo más alta posible; cuanto más lenta sea la congelación, tanto menor será la humedad relativa en el almacenamiento. (SINGH y HELDMAN, 1984)

## **4. 2 Balance de masa, por ciclo de congelación**

El balance general del proceso con los valores de los flujos de todas las corrientes del proceso completo, se presentan en el ANEXO 1. El balance de masa se determinó de acuerdo a las toneladas de materia prima que entran al proceso por ciclo de congelación, 4,6 horas aproximadamente. Las corrientes se estimaron por flujos de alimentación (kilos de materia prima por hora) y carga por ciclo de congelación.

El ciclo de congelación esta determinado, por la capacidad de transferencia de calor la cual se limita en el tiempo por la acumulación de hielo en la cinta transportadora del equipo IQF. Esta acumulación de hielo es transiente, por lo que con el transcurso del tiempo, la eficiencia del proceso de congelación va en descenso (FRIGOSCANDIA, 1982). El detalle del cálculo de las corrientes, estimadas y la propagación del error se puede ver en el ANEXO 2.

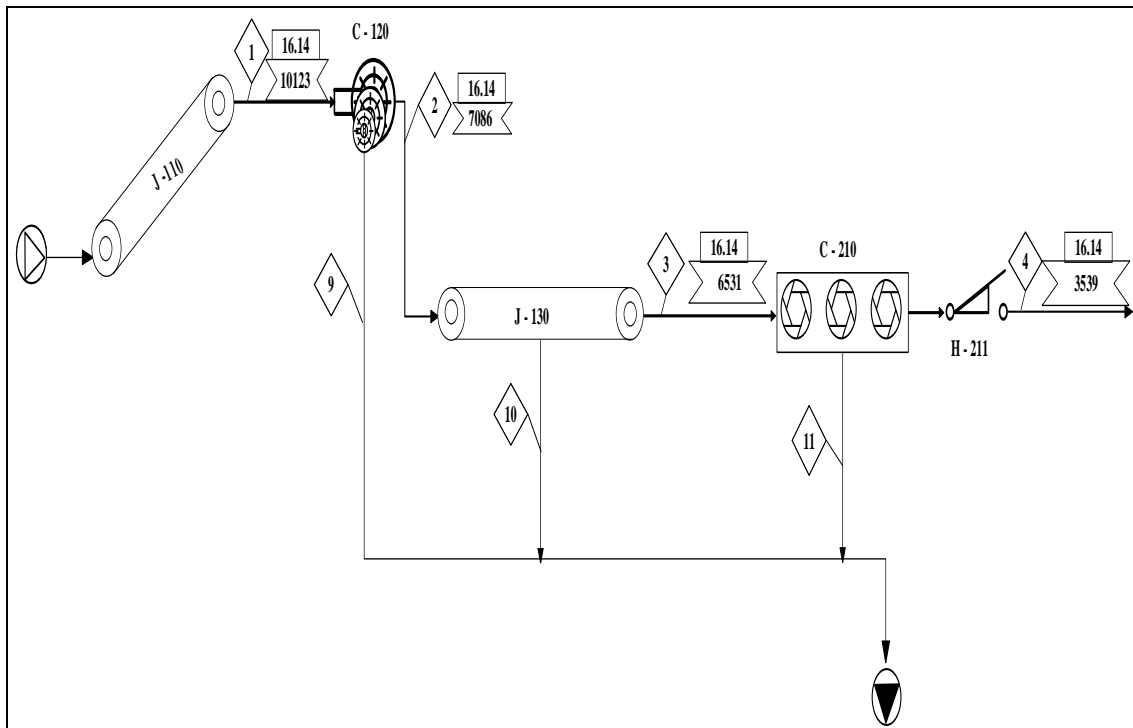
A continuación se presenta la línea de producción dividida por secciones; las secciones se determinaron en base a los servicios ocupados y los componentes invariantes de la materia prima.

**4.2.1 Sistemas que constituyen la línea de producción del maíz congelado en grano.** Sistemas definidos por sus componentes invariantes y servicios necesarios en cada sistema. Se presentan todos los sistemas del proceso, junto con los flujos correspondientes a cada corriente. La identificación de cada uno de los equipos y

operaciones, que componen cada sistema, se pueden observar en el diagrama de flujo del proceso completo ANEXO 1.

- **Sistema P - 100. Sistema de desgrane.**

En este sistema los componentes de los granos de maíz se mantienen constantes, desde la entrada de la materia prima al sistema hasta la salida de los granos de maíz del sistema.



**FIGURA 2. Sistema P-100. Desgranado de las mazorcas.**

- **Corriente 1.** Corriente principal. Corresponde a la entrada de las mazorcas completas a la línea de producción.

**CUADRO 2 Corriente 1, alimentación de las mazorcas completas al proceso.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	16,1 ± 1°C	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo Másico (kg/h)	Fracción Másica		Flujo ciclo completo (kg)
<i>Sólidos solubles °brix</i>	1175 ± 311	0,268 ± 0,054		5405 ± 311
<i>Sólidos insolubles</i>	96 ± 268	0,022 ± 0,061		445 ± 268
<i>Agua</i>	3112 ± 546	0,71 ± 0,028		14347 ± 546
<b>Grano</b>	4383 ± 751	0,433 ± 0,049		20208 ± 751
Materia vegetal	2602 ± 510	0,257 ± 0,038		11969 ± 510
Resto vegetal (planta)	435 ± 200	0,043 ± 0,019		2001 ± 200
Olote	2693 ± 605	0,266 ± 0,054		123988 ± 605
<b>TOTAL</b>	<b>10123 ± 1304</b>	<b>1 ± 0,16</b>		<b>46566 ± 1304</b>

- **Corriente 9.** Corresponde a una corriente auxiliar, en la que se eliminan desechos, elementos propios de la planta de maíz.

**CUADRO 3 Corriente 9, hojas y restos vegetales propios de la planta de maíz.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	N.A	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo Másico (kg/h)	Fracción Másica		Flujo ciclo completo (kg)
<i>Sólidos solubles °brix</i>				
<i>Sólidos insolubles</i>				
<i>Agua</i>				
<b>Grano</b>				
Materia vegetal	2602 ± 510	0,857 ± 0,228		11969 ± 510
Resto vegetal (planta)	435 ± 200	0,143 ± 0,071		2001 ± 200
Olote				
<b>TOTAL</b>	<b>3037 ± 548</b>	<b>1 ± 0,2388</b>		<b>13970 ± 548</b>

- **Corriente 2.** Corriente principal. Corresponde a las mazorcas totalmente deshojadas, sin barbas ni restos de planta que pudiese traer la materia prima.

**CUADRO 4 Corriente 2, mazorcas sin materia vegetal**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	16,1 ± 1°C	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo Másico (kg/h)	Fracción Másica		Flujo ciclo completo (kg)
<i>Sólidos solubles °brix</i>	1175 ± 311	0,268 ± 0,054		5405 ± 311
<i>Sólidos insolubles</i>	96 ± 268	0,022 ± 0,061		442 ± 268
<i>Agua</i>	3112 ± 546	0,71 ± 0,028		14315 ± 546
<b>Grano</b>	4383 ± 751	0,619 ± 0,1356		20162 ± 751
Materia vegetal				
Resto vegetal (planta)				
Olote	2693 ± 605	0,3801 ± 0,0999		12388 ± 605
<b>TOTAL</b>	<b>7076 ± 964</b>	<b>1 ± 0,16</b>		<b>32550 ± 964</b>

- **Corriente 10.** Es una corriente auxiliar, en la cual van todas las mazorcas maíz con defecto, los cuales son retirados manualmente desde la cinta de selección.

**CUADRO 5 Corriente 10, Mazorcas con defectos.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	16,1 ± 1°C	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo Másico (kg/h)	Fracción Másica		Flujo ciclo completo (kg)
<i>Sólidos solubles °brix</i>	92 ± 30	0,268 ± 0,054		423 ± 17
<i>Sólidos insolubles</i>	7,5 ± 21	0,022 ± 0,061		34,5 ± 2
<i>Agua</i>	244 ± 63	0,71 ± 0,028		1122 ± 45
<b>Grano</b>	343 ± 88	0,619 ± 0,1356		1578 ± 88
Materia vegetal				
Resto vegetal (planta)				
Olote	211 ± 86	0,3801 ± 0,0999		971 ± 86
<b>TOTAL</b>	<b>554 ± 75</b>	<b>1 ± 0,199</b>		<b>2548 ± 75</b>

- **Corriente 3.** Corriente principal. Corriente que lleva la materia prima totalmente apta para se procesada.



**CUADRO 6 Corriente 3, mazorcas sin defectos.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	16,1 ± 1°C	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Fracción másica		Flujo ciclo completo (kg)
<i>Sólidos solubles °brix</i>	1082 ± 203	0,268 ± 0,054		4977 ± 203
<i>Sólidos insolubles</i>	89 ± 17	0,022 ± 0,061		409 ± 17
<i>Agua</i>	2868 ± 537	0,71 ± 0,028		13193 ± 537
<b>Grano</b>	4040 ± 756	0,6194 ± 0,1356		18584 ± 756
Materia vegetal				
Resto vegetal (planta)				
Olote	2482 ± 611	0,3801 ± 0,0999		11417 ± 611
<b>TOTAL</b>	<b>6522 ± 972</b>	<b>1 ± 0,1158</b>		<b>30001 ± 972</b>

- **Corriente 11.** Corriente auxiliar. Corriente que lleva los olotes, los cuales son eliminados del proceso por una cinta paralela a las desgranadoras de las mazorcas.

**CUADRO 7 Corriente 11, olotes más lechada.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	N.A	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Fracción másica		Flujo ciclo completo (kg)
<i>Sólidos solubles °brix</i>	420 ± 259	0,8383 ± 0,054		1932 ± 1295
<i>Sólidos insolubles</i>				
<i>Agua</i>	80 ± 890	0,1597 ± 0,028		360 ± 1295
<b>Grano</b>	501 ± 1147	0,1679 ± 0,016		2305 ± 1295
Materia vegetal				
Resto vegetal (planta)				
Olote	2482 ± 611	0,8320 ± 0,3651		11417 ± 349
<b>TOTAL</b>	<b>2983 ± 1299</b>	<b>1 ± 0,5706</b>		<b>13763 ± 1248</b>

- **Corriente 4.** Corriente principal. Granos del maíz ya separados del olote.

**CUADRO 8 Corriente 4, granos de maíz.**

<b>Condiciones:</b>	<b>Temperatura (T) [°C]</b>	16,5 ± 1°C	<b>Duración Ciclo</b>	<b>4,6 h</b>
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Fracción másica</b>		<b>Flujo ciclo completo (kg)</b>
<i>Sólidos solubles %brix</i>	662 ± 161	0,187 ± 0,054		3045 ± 161
<i>Sólidos insolubles</i>	89 ± 22	0,0255 ± 0,022		409 ± 22
<i>Agua</i>	2788 ± 710	0,7875 ± 0,0583		12825 ± 710
<b>TOTAL Grano</b>	<b>3539 ± 863</b>	<b>1 ± 0,0824</b>		<b>16279 ± 863</b>

#### **Sistema P - 200. Sistema separador**

Este sistema esta constituido por un equipo, el cual realiza la separación por flotación de los granos rotos que pudiese haber. Es común ver granos rotos cuando el corte de las cuchillas desgranadores es deficiente. En este sistema se comienza hacer patente la perdida de sólidos solubles de la materia prima en el proceso.

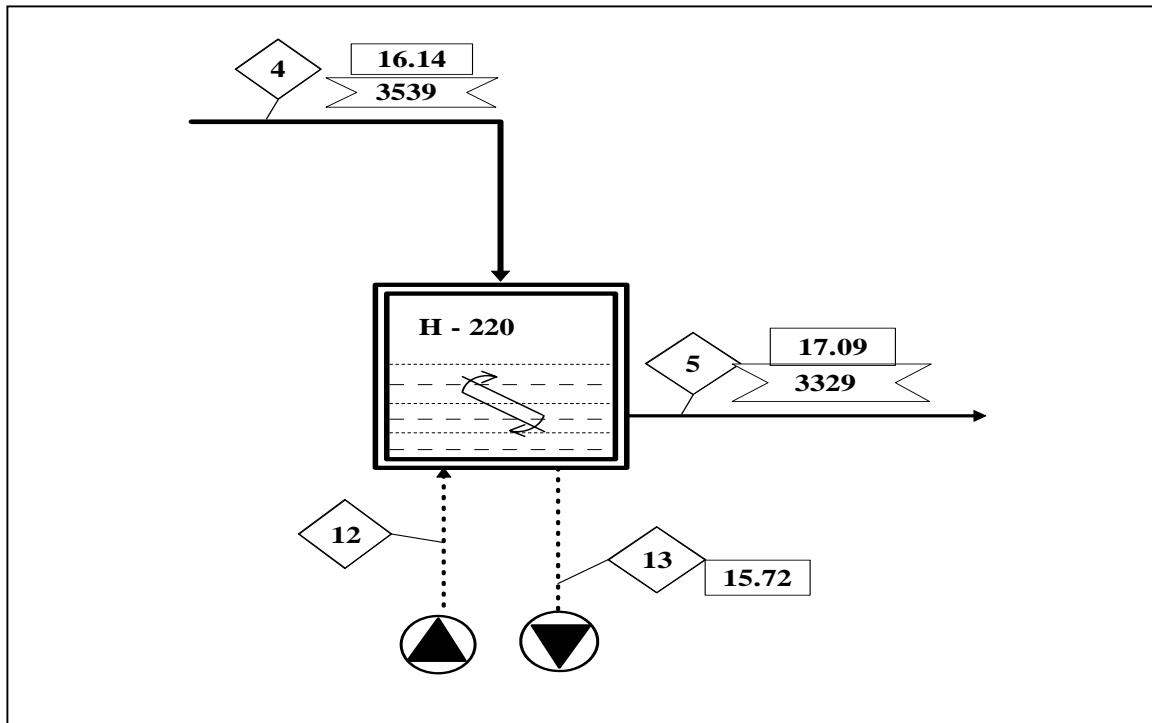


FIGURA 3 Sistema P – 200. Sistema de separación por densidad.

- Corriente 5. Corriente principal, lleva granos enteros aptos para el proceso.

CUADRO 9 Corriente 5, granos separados por densidad.

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	17,1 ± 1°C	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Fracción másica		Flujo ciclo completo (kg)
Sólidos solubles °brix	537 ± 139	0,1614 ± 0,0002		2470 ± 139
Sólidos insolubles	89 ± 22	0,0270 ± 0,0059		409 ± 711
Agua	2703 ± 1127	0,8120 ± 0,3986		12434 ± 1127
<b>TOTAL Grano</b>	<b>3329 ± 863</b>	<b>1 ± 0,4523</b>		<b>15313 ± 863</b>

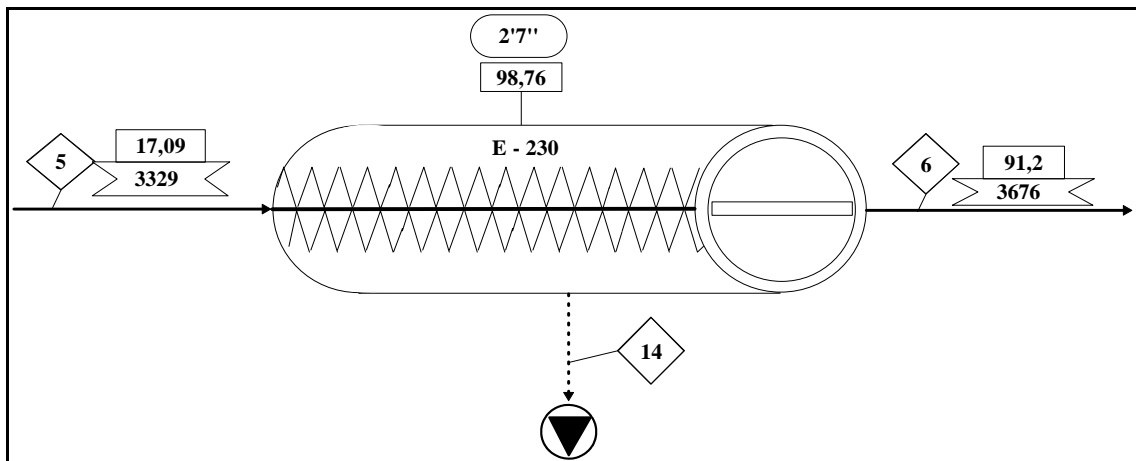
- **Corriente 13.** Corriente auxiliar. Corriente que lleva granos rotos en su mayoría hollejos.

**CUADRO 10 Corriente 13, granos rotos separados por densidad.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	15,7 ± 1°C	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Fracción másica		Flujo ciclo completo (kg)
Sólidos solubles °brix	125 ± 213	0,5952 ± 3,5819		575 ± 207
Sólidos insolubles				
Agua	85 ± 1316	0,4048 ± 6,1629		391 ± 1197
<b>TOTAL Grano</b>	<b>210 ± 1220</b>	<b>1 ± 0,0009</b>		<b>966 ± 1215</b>

**Sistema P - 300. Sistema de escaldado.**

Sistema de escaldado el cual tiene como función principal el desactivar la actividad enzimática en los granos de maíz, para lo cual los granos deben de tener un tiempo de residencia en el equipo de 2,5 minutos aproximadamente, a una temperatura de 98 °C, valores determinados previo estudio del departamento de calidad, de la empresa en la cual se desarrolló el trabajo.



**FIGURA 4. Sistema P – 300. Sistema de escaldado.**

- **Corriente 6.** Corriente principal. Esta corriente debe llevar los granos de maíz totalmente aptos. La actividad enzimática en los granos debe de ser nula. De no ser así se deben de tomar medidas de contingencia; por ejemplo, si la actividad enzimática es baja, una solución es facilitar que el producto salga lo antes posible al comercio. Si la actividad enzimática es severa, se deberá reprocesar la materia prima. Ante esta situación hay que evaluar todos los factores que causaron que el escaldado no cumpla su objetivo, desde la supervisión del proceso hasta saber su causa. La determinación de reprocesar la materia prima genera consecuencias en el proceso, gastos económicos y pérdidas de calidad de la materia prima.

**CUADRO 11 Corriente 6, granos escaldados.**

<b>Condiciones:</b>	<b>Temperatura (T) [°C]</b>	<b>92,2 ± 1°C</b>	<b>Duración Ciclo</b>	<b>4,6 h</b>
<b>Componentes</b>	<b>Flujo másico (kg/h)</b>	<b>Fracción másica</b>		<b>Flujo ciclo completo (kg)</b>
<i>Sólidos solubles °brix</i>	462 ± 114	0,1257 ± 0,0002		2125 ± 139
<i>Sólidos insolubles</i>	89 ± 22	0,0242 ± 0,0085		409 ± 711
<i>Agua</i>	3125 ± 921	0,8501 ± 0,3259		14375 ± 1257
<b>TOTAL Grano</b>	<b>3676 ± 914</b>	<b>1 ± 0,4461</b>		<b>16910 ± 1451</b>

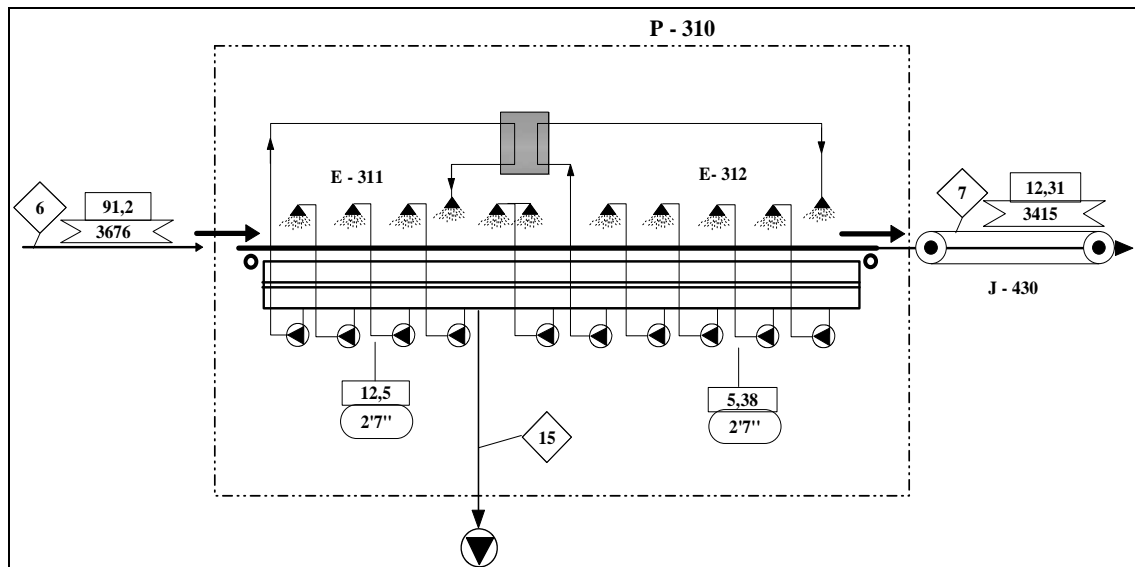
- **Corriente 14.** Corriente auxiliar. En esta corriente se detecta presencia de sólidos solubles, los cuales corresponden a pérdidas de este componente por parte la materia prima.

**CUADRO 12 Corriente 14, agua condensada del escalador.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	98,8 ± 1°C	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Fracción másica		Flujo ciclo completo (kg)
Sólidos solubles °brix	75 ± 178	1 ± 0,0178		345 ± 178
Sólidos insolubles				
Agua				
<b>TOTAL</b>	75 ± 178	1 ± 0,0178		345 ± 178

**Sistema P - 400. Sistema de enfriado.**

Sistema de enfriado compuesto por dos equipos hidrocooler interconectados en serie entre si. Su objetivo principal es disminuir la entalpía entre los granos de maíz que salen del escalado y la temperatura del equipo de congelación IQF.



**FIGURA 5 Sistema P – 400. Sistema de enfriado.**

- **Corriente 7.** Corriente principal. Corriente de granos escaldados los cuales salen a una temperatura de 80°C, a estos se les debe bajar la temperatura, para lograr una mayor eficiencia de la congelación. Los granos deben entrar al equipo IQF a una temperatura no mayor a los 16°C.

**CUADRO 13 Corriente 7, granos fríos.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	12,3 ± 1°C	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Fracción másica		Flujo ciclo completo (kg)
<i>Sólidos solubles °brix</i>	321 ± 93	0,0940 ± 0,0002		1477 ± 93
<i>Sólidos insolubles</i>	89 ± 22	0,0261 ± 0,0091		409 ± 711
<i>Agua</i>	3005 ± 989	0,8799 ± 0,3849		13823 ± 1257
<b>TOTAL Grano</b>	<b>3415 ± 984</b>	<b>1 ± 0,4931</b>		<b>15709 ± 984</b>

- **Corriente 15.** Corriente de enfriado. Corriente de agua, por sistema de aspersión sobre la cinta transportadora en la cual se llevan los granos de maíz hacia el congelador IQF.

**CUADRO 14 Corriente 15, agua del equipo de hidrogenfriado.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	5,4 ± 1°C	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Fracción másica		Flujo ciclo completo (kg)
<i>Sólidos solubles °brix</i>	141 ± 147	0,5402 ± 1,3159		649 ± 147
<i>Sólidos insolubles</i>				
<i>Agua</i>	120 ± 1351	0,4598 ± 4,9216		552 ± 1257
<b>TOTAL Grano</b>	<b>261 ± 1343</b>	<b>1 ± 5,0945</b>		<b>1201 ± 1265</b>

## Sistema P - 500. Sistema de congelado

Equipo de congelación con lecho fluidizado IQF. Sistema de congelación rápido; los granos de maíz tienen un tiempo de residencia de aproximadamente 15 minutos en los cuales el producto alcanza los  $-20^{\circ}\text{C}$ , en su centro térmico.

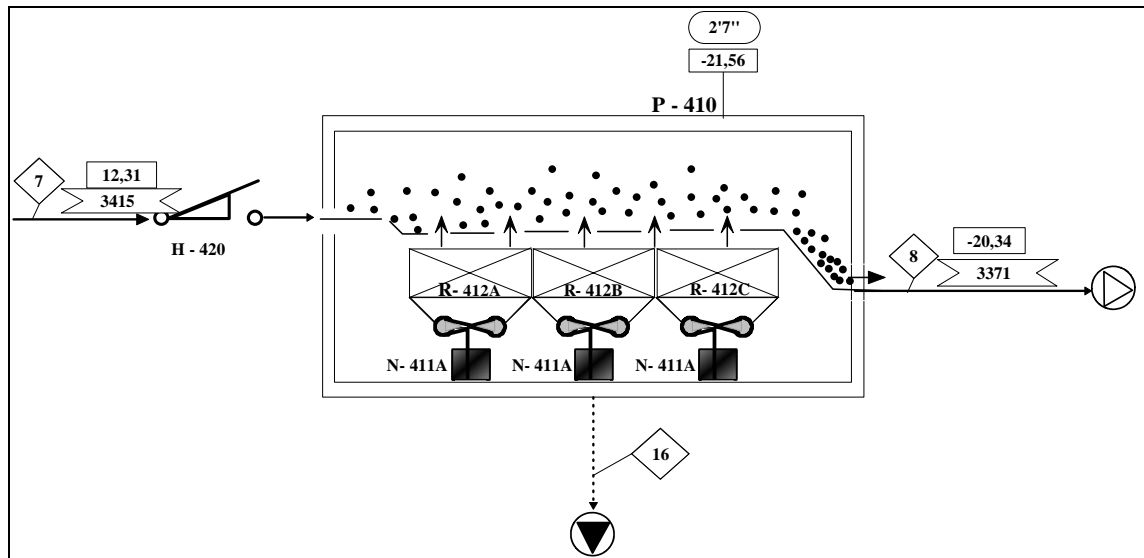


FIGURA 7. Sistema P – 500. Equipo IQF.

- **Corriente 8.** Corriente principal. Los granos enfriados a unos  $16^{\circ}\text{C}$  aproximadamente entran al equipo IQF.

CUADRO 15 Corriente 8, granos congelados.

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	$-20,3 \pm 1^{\circ}\text{C}$	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Fracción másica	Flujo ciclo completo (kg)	
Sólidos solubles °brix	$317 \pm 88$	$0,0940 \pm 0,0380$	$1458 \pm 93$	
Sólidos insolubles	$89 \pm 22$	$0,0264 \pm 0,0098$	$405 \pm 711$	
Agua	$2911 \pm 943$	$0,8799 \pm 0,4462$	$13644 \pm 1257$	
<b>TOTAL Grano</b>	<b><math>3371 \pm 939</math></b>	<b><math>1 \pm 0,4950</math></b>	<b><math>15507 \pm 939</math></b>	



- **Corriente 16.** Corriente auxiliar. Corresponde a los restos de granos que puedan quedar al interior del equipo IQF. Debido a la diferencias de temperaturas entre el producto y la temperatura en el interior del equipo, provocan una capa de hielo, lo que hace que el producto se adhiera en la cinta transportadora. Esto significa mermas en el proceso; las cuales son retiradas y contabilizadas al término del ciclo térmico.

**CUADRO 16 Corriente 16, mermas en el proceso de congelación.**

Condiciones:	Temperatura (T) [°C]	N.A	Duración Ciclo	4,6 h
Componentes	Flujo másico (kg/h)	Fracción másica		Flujo ciclo completo (kg)
<i>Sólidos solubles °brix</i>	4 ± 93	0,0909 ± 3,5158		18 ± 93
<i>Sólidos insolubles</i>	1 ± 711	0,0227 ± 16,1549		5 ± 711
<i>Agua</i>	39 ± 1257	0,8864 ± 39,5834		179 ± 1257
Masa mermas				
<b>TOTAL Grano</b>	<b>44 ± 1360</b>	<b>1 ± 0,4931</b>		<b>202 ± 1360</b>

- **Indicadores del proceso, obtenidos en base a valores de las corrientes del proceso de acuerdo al balance de materia.**

**CUADRO 17 Indicadores del proceso.**

<b>Indicador</b>	<b>Resultados ( %)</b>
Rendimiento de la materia prima	33%
Materia vegetal de la materia prima	30%
Mazorcas con defectos	5,5%
Olotos	29,6%
Granos rotos en el proceso	2,1%
Granos escaldados	36,3%
Granos enfriados	33,7%
Mermas en el equipo IQF	0,43%
Relación de sólidos solubles de la materia prima, respecto al maíz congelado	26,9%
Pérdida de sólidos solubles en el proceso	73,1%
Pérdida de sólidos solubles en el desgranado	35,9%
Pérdida de sólidos solubles en el separador ONLEY	10,6%
Pérdida de sólidos solubles en el escaldado	6,4%
Pérdida de sólidos solubles en la etapa de enfriado	12%

La pérdida de sólidos solubles es evidente en el proceso, es crítica la pérdida en la operación de desgranado, presentando una pérdida del 36%. Esta operación, de acuerdo al trabajo realizado en planta es controlable. Los aspectos con los cuales se puede disminuir el porcentaje de pérdida son:

- Control exhaustivo de las condiciones de corte de cada una de las cuchillas de los equipos desgranadoras.
- Control de la temperatura de las mazorcas que entran al proceso. (efecto de la temperatura en la turgencia del grano).

### 4.3 Análisis de los datos correspondientes a la temporada de proceso

**4.3.1 Análisis de rendimiento por variedad utilizada en la industria de maíz congelado.** En la temporada de producción de maíz congelado, comprendido en los meses de enero a abril del año 2006, se trabajó con cuatro variedades de maíz, BUTTER 600, GH2041, GH2757, HMX 7384; se analizaron estas variedades con respecto a su rendimiento final. Se tomaron 52 datos de las cuatro variedades antes señaladas, dejándose fuera las variedades 6800, ENTERPRICE, UY0712 ya que es poca la cantidad que se procesa de estas variedades, no lográndose realizar un muestreo representativo.

- **Análisis de varianza de las características físico – químicas humedad, sólidos solubles de las variedades de maíz BUTTER 600, GH2041, GH2757, HMX 7384**

**CUADRO 18 Análisis respecto al contenido de humedad.**

<b>HUMEDAD</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>gl</b>	<b>Media cuadrática</b>	<b>F coeficiente</b>	<b>P - valor</b>
Inter-Grupos	1852,55	3	617,515	265,71	0,000
Intra-Grupos	446,204	192	2,32398		

El p-valor ( $\leq 0,05$ ), indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre la humedad de las distintas variedades de maíz, con un nivel de confianza del 95,0%.

**CUADRO 19 Análisis de significancia de las distintas variedades respecto a su contenido de humedad.**

Variedad Maíz	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/- Límites
GH 2757	68,6735	X	BUTTER600-GH2041	*4,04082	0,607475
			BUTTER600-GH2757	*8,0	0,607475
HMX 7384	69,8776	X	BUTTER600-HMX7384	*6,79592	0,607475
GH2041	72,6327	X	GH2041 - GH2757	*3,95918	0,607475
BUTTER 600	76,6735	X	GH2041 - HMX7384	*2,7551	0,607475
			GH2757 - HMX7384	*-1,20408	0,607475

- indica una diferencia significativa.

Las cuatro variedades poseen diferencias significativas en cuanto a su contenido de humedad. La empresa evaluada, maneja como parámetro interno de calidad la humedad de la materia prima, la cual se puede clasificar como se indica en el CUADRO 20.

**CUADRO 20 Grados de calidad, respecto a contenido de humedad de la materia prima.**

<b>Grado según porcentaje de humedad del choclo dulce.</b>	
Grado 1	≥ 72%
Grado 2	71 – 69 %
Grado 3	= 68 – 66%
SUB – STANDARD	≤ 65 %

**CUADRO 21 Análisis respecto al contenido de sólidos solubles.**

<b>SÓLIDOS SOLUBLES</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F coeficiente	P - valor
Inter-Grupos	3943,1	3	1314,37	168,39	0,000
Intra-Grupos	1498,61	192	7,80527		

El p-valor ( $\leq 0,05$ ), indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre la concentración de sólidos solubles de las distintas variedades de maíz, con un nivel de confianza del 95,0%.

**CUADRO 22 Análisis de significancia de las distintas variedades respecto a su contenido de sólidos solubles.**

Variedad Maíz	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/- Limites
BUTTER 600 GH2041 HMX 7384 GH 2757	16,0898 21,3102 26,2469 27,4204	X	BUTTER600-GH2041	*-5,22041	1,11328
			BUTTER600-GH2757	*-11,3306	1,11328
		X	BUTTER600-HMX7384	*-10,1571	1,11328
			X	GH2041 - GH2757	*-6,1102
		GH2041 - HMX7384		*-4,93673	1,11328
		GH2757 - HMX7384		*1,1734	1,11328

**CUADRO 23 Análisis de las variedades de maíz respecto a su rendimiento.**

<b>RENDIMIENTO</b>					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F coeficiente	P - valor
Inter-Grupos	1113,36	3	371,119	13,12	0,000
Intra-Grupos	5431,38	192	28,2884		

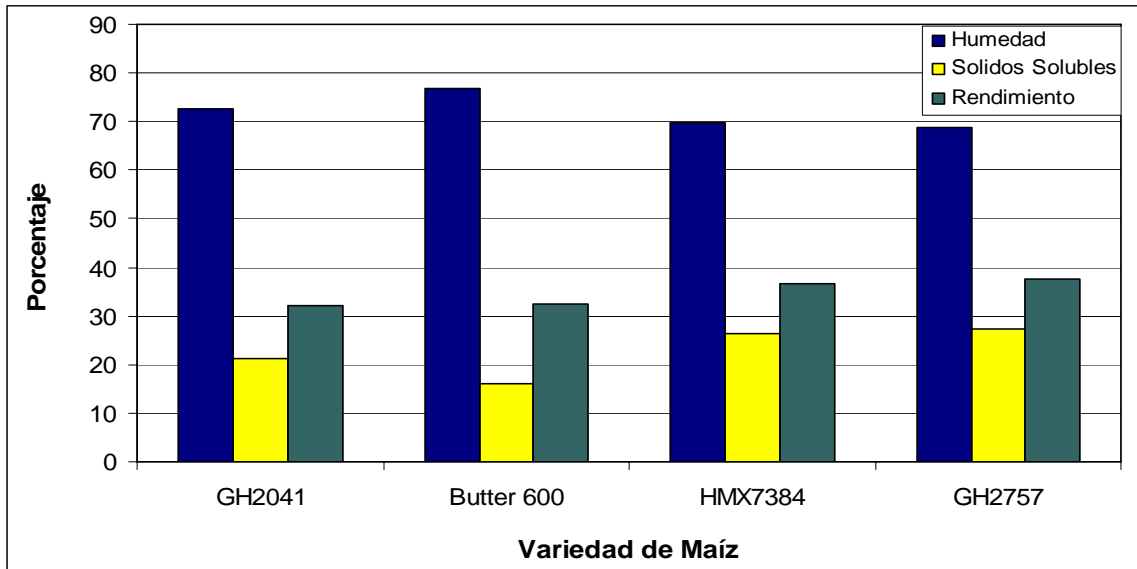
El p-valor ( $\leq 0,05$ ), indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre la humedad de las distintas variedades de maíz, con un nivel de confianza del 95,0%.

**CUADRO 24 Análisis de significancia del rendimiento entre las variedades de maíz**

Variedad Maíz	Promedio	Grupos homogéneos	Contraste	Diferencia	+/- Límites
GH2041	32,2404	X	BUTTER600-GH2041	0,245714	2,11942
			BUTTER600-GH2757	*-5,00265	2,11942
BUTTER 600	32,4861	X	BUTTER600-HMX7384	*-4,21306	2,11942
			GH2041 - GH2757	*-5,24837	2,11942
HMX 7384	36,6992	X	GH2041 - HMX7384	*-4,45878	2,11942
GH 2757	37,4888	X	GH2757 - HMX7384	0,789592	2,11942

Las variedades evaluadas tienen diferencias significativas respecto a los parámetros de humedad y sólidos solubles. En cuanto al rendimiento por variedad, no existe diferencia entre las variedades BUTTER 600 y GH2041, como tampoco existe diferencia entre las variedades GH2757 y HMX7384, por lo cual no es posible determinar o afirmar la superioridad de una variedad sobre otra.

En la FIGURA 7, se muestra de forma gráfica los datos recolectados durante la temporada evaluada (400 datos), variedades respecto a su contenido de humedad, sólidos solubles y rendimiento.



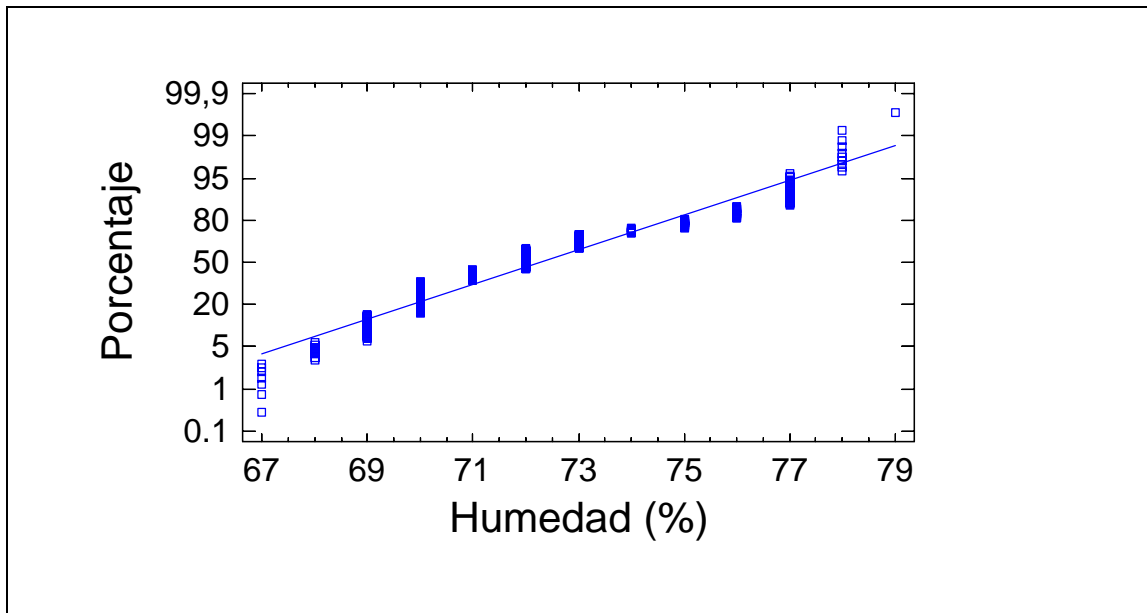
**FIGURA 7 Evaluación de las variedades, en función a su contenido de humedad, sólidos solubles y rendimiento en el proceso.**

Los datos registrados demuestran que la variedad que tiene un mayor rendimiento no es aquella variedad que corresponde a la mejor calidad de acuerdo a la humedad CUADRO 23. Este es un aspecto muy importante ya que una gran cantidad de materia prima de la temporada clasifica con grado 3 y sub – estándar lo cual tiene un gran impacto en la economía de la empresa, ya que este producto es de un valor inferior al tener una calidad inferior, además de tener un mercado limitado.

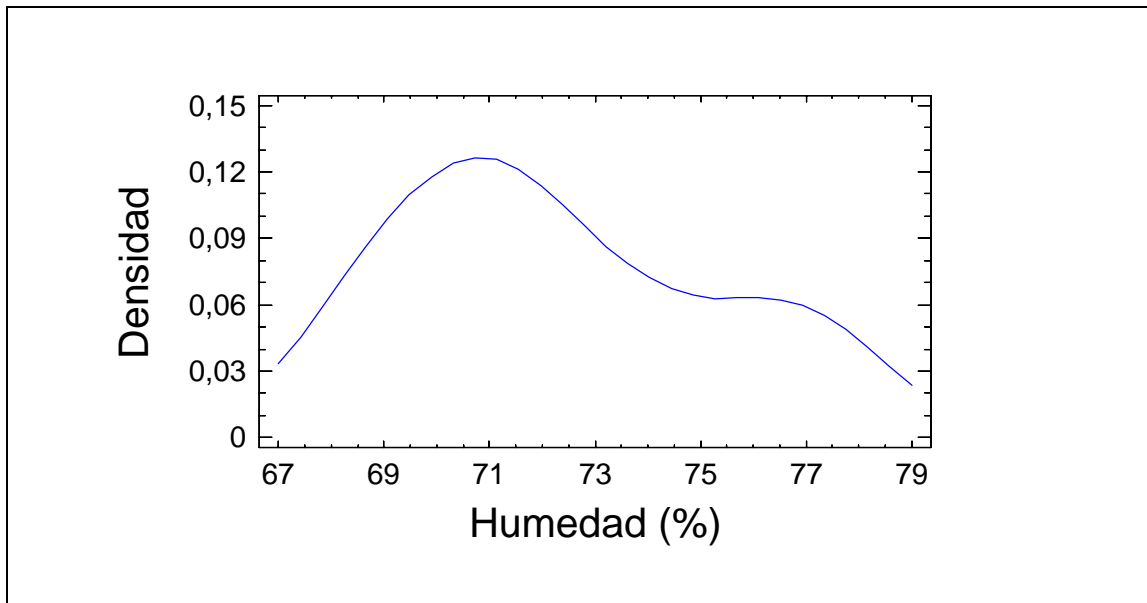
Los parámetros evaluados son muy importantes, el rendimiento de todo proceso esta determinado por la calidad de la materia prima que se dispone. Un análisis exhaustivo, que permita determinar aquellos factores que afectan el rendimiento de la materia prima, será información primordial para determinar la capacidad del proceso.

**4.3.2 Análisis de la calidad de la materia prima que llega al proceso.** Se realizó el muestreo de la materia prima que esta ingresando a la línea de proceso durante 52 días en el mes de Febrero y Marzo (meses de mayor producción). Cada dos horas se realizaron 4 mediciones por día. Luego se analizaron en forma estadística los valores de humedad de la materia prima, para determinar su cumplimiento con los requisitos de calidad establecidos por la empresa CUADRO 23.

La población lograda es de 208 datos, estos fueron ingresados al programa computacional STATGRAPHICS Plus 5.1, realizando el siguiente análisis descriptivo para ver la normalidad de los datos y poder así aplicar la carta de control X-barras y S.



**FIGURA 8** Gráfico de normalidad de los datos de humedad de la materia prima en la temporada.



**FIGURA 10** Histograma para la distribución de los datos en que se relaciona la humedad con la densidad.

La FIGURA 8, muestra que los datos siguen aproximadamente una distribución normal y la FIGURA 9, no muestran una curva característica a una distribución normal, sino



que es una curva bimodal. Al no ser factible aplicar las cartas de control, se realiza una evaluación de la frecuencia de los datos.

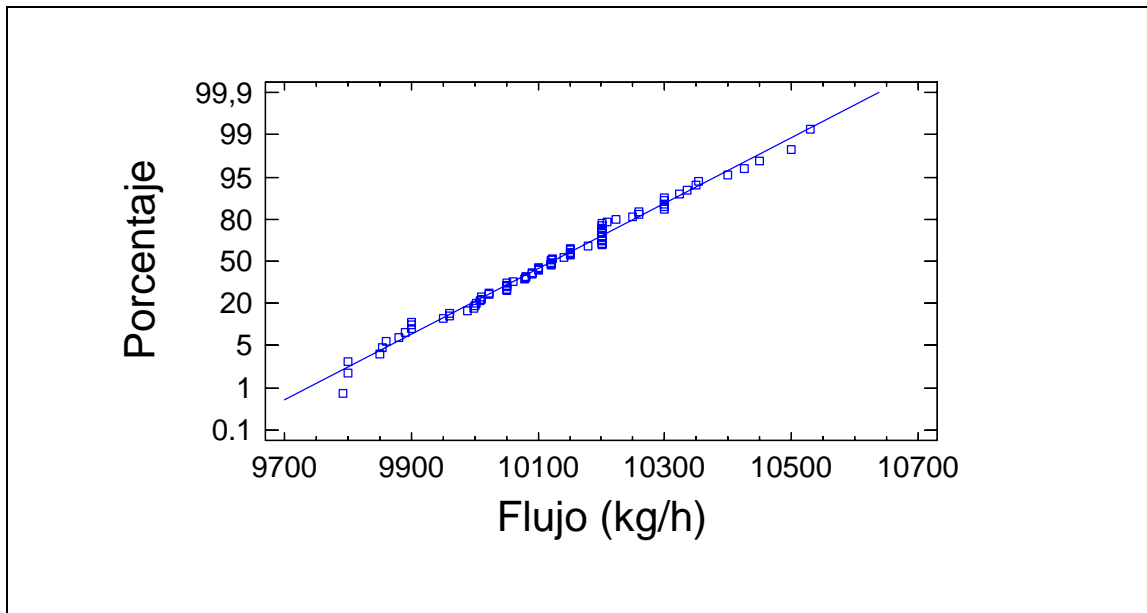
**CUADRO 25 Evaluación de frecuencias para la humedad de la materia prima.**

Límite inferior	Límite superior	Frecuencia	Frecuencia relativa	Frecuencia acumulada	Frecuencia acumulada relativa
≤	66,0	0	0,0000	0	0,0000
66,0	67,7	7	0,0337	7	0,0337
67,7	69,3	29	0,1394	36	0,1731
69,3	71,0	57	0,2740	93	0,4471
71,0	72,7	32	0,1538	125	0,6010
72,7	74,3	28	0,1346	153	0,7356
74,3	76,0	24	0,1154	177	0,8510
76,0	77,7	21	0,1010	198	0,9519
77,7	79,3	10	0,0481	208	1,0000
79,3	81,0	0	0,0000	208	1,0000
81	≥	0	0,0000	208	1,0000
Media = 72,2837 Desviación típica = 3,03463					

De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla de frecuencia, la calidad de la materia prima procesada en la temporada, el 44,71% corresponden a calidad grado 3 y sub – estándar; variedades menos rentables en el aspecto económico por la empresa.

**4.3.3 Evaluación de los flujos de alimentación por sistemas.** El ANEXO 4, presenta las especificaciones de los equipos en cuanto a su capacidad; estos datos se utilizaron como referente, para evaluar los flujos de alimentación por equipo.

El primer punto de control para el flujo de alimentación de este estudio se realizó a la salida de la cinta de arrastre.

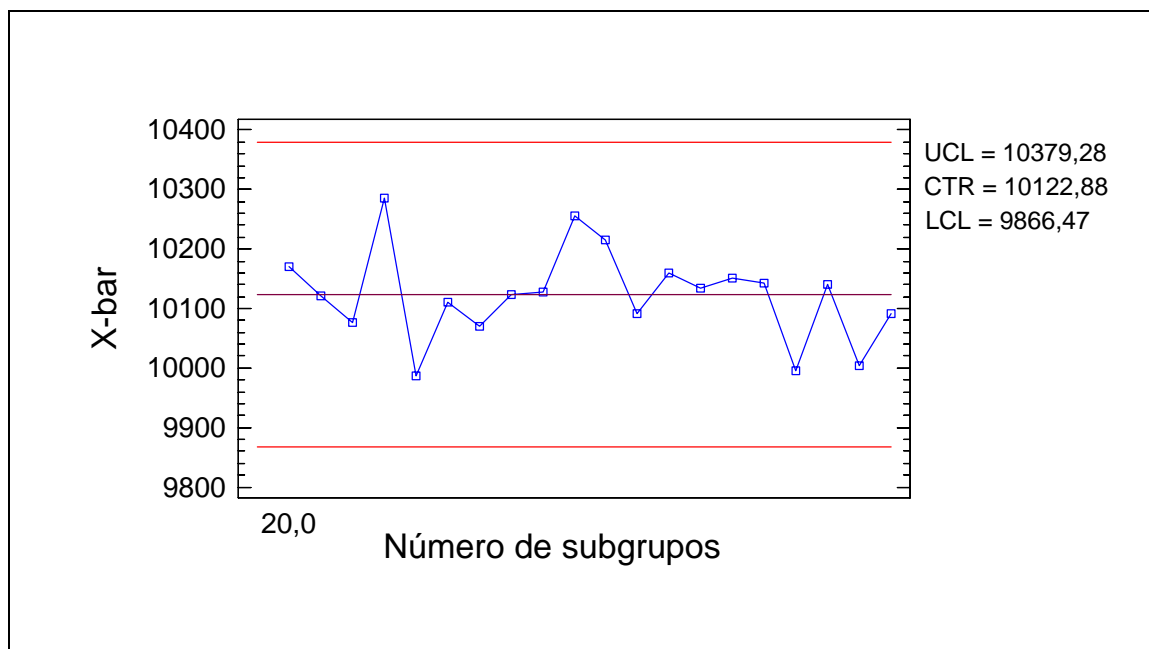


**FIGURA 10 Gráfico de la normalidad de los datos de flujo de alimentación al proceso, Sistema P – 100.**

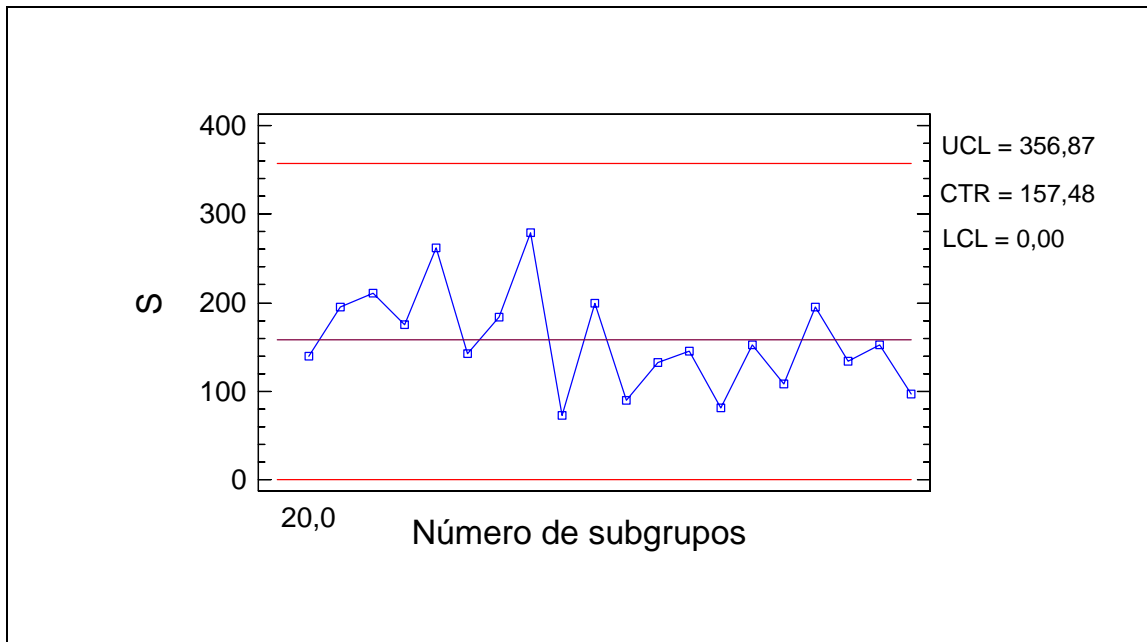
La FIGURA 10, muestra que los datos siguen aproximadamente una distribución normal, por lo tanto se cumple con la condición para aplicar una carta de control X-barra, S – barra. Un gráfico X – barra contiene la media muestral de la característica que se pretende estudiar, por lo que mediante él podemos detectar posibles variaciones en el valor medio de dicha características durante el proceso (desviaciones con respecto al objetivo). Un gráfico S es un gráfico de control para evaluar la desviación estándar muestral. Se utiliza para medir la variación del proceso y detectar la posible existencia de causas especiales. Es habitual usar los gráficos R para estudiar la variación en muestras de tamaño no superior a 10, recurriendo a los gráficos S para muestras mayores (CHASE et al, 2001).

Luego del análisis descriptivo se aplica la carta de control para 80 datos en total, evaluados con 20 subgrupos cada uno, con un tamaño de muestra de  $n = 4$ .

Con el fin de identificar los cambios de flujo en el proceso se han elaborado las cartas de control para los flujos de alimentación de la línea de proceso. La carta de control utilizada es la del promedio y la desviación estándar ( $\bar{X}$  y S). Los límites de control para las medias son calculados utilizando un factor de control de 3-sigma. El periodo de tiempo en el cual se tomaron los datos se estimo que fuese lo suficientemente amplio como para que hayan cambios de turno, variabilidad en la materia prima, horas de punta etc. La estimación de los parámetros será, además, una tarea que ha de someterse a revisión periódica.



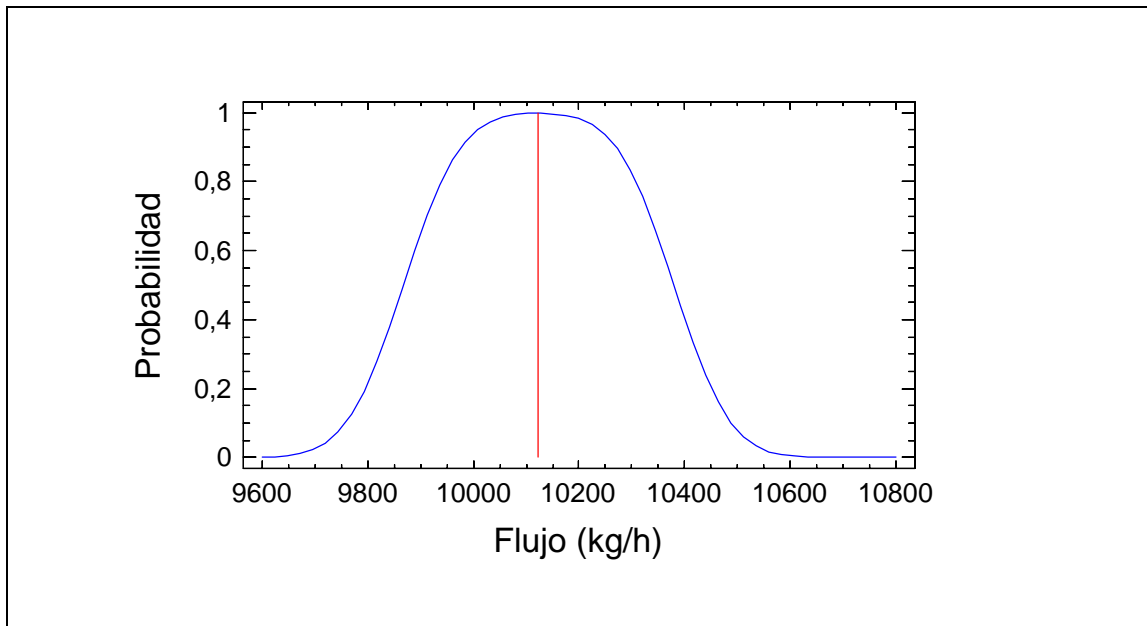
**FIGURA 11** Gráfico X – barra, de la evaluación de los flujos de alimentación del proceso.



**FIGURA 12 Gráfico S – barra, evaluación del flujo de alimentación del proceso, respecto a la desviación estándar de los subgrupos.**

Como resultado del Gráfico X-barra FIGURA 12, se indica como límite superior de control (UCL) 10379,28 kg/h, límite central de control (CTR) 10122,88 kg/h y límite inferior de control (LCL) 9866,47 kg/h. El gráfico S-barra FIGURA 13, establece un límite superior de control (UCL) de 356,87, límite central de control (CTR) 157,48 y límite inferior de control (LCL) de 0,00 respecto a la desviación estándar de los subgrupos.

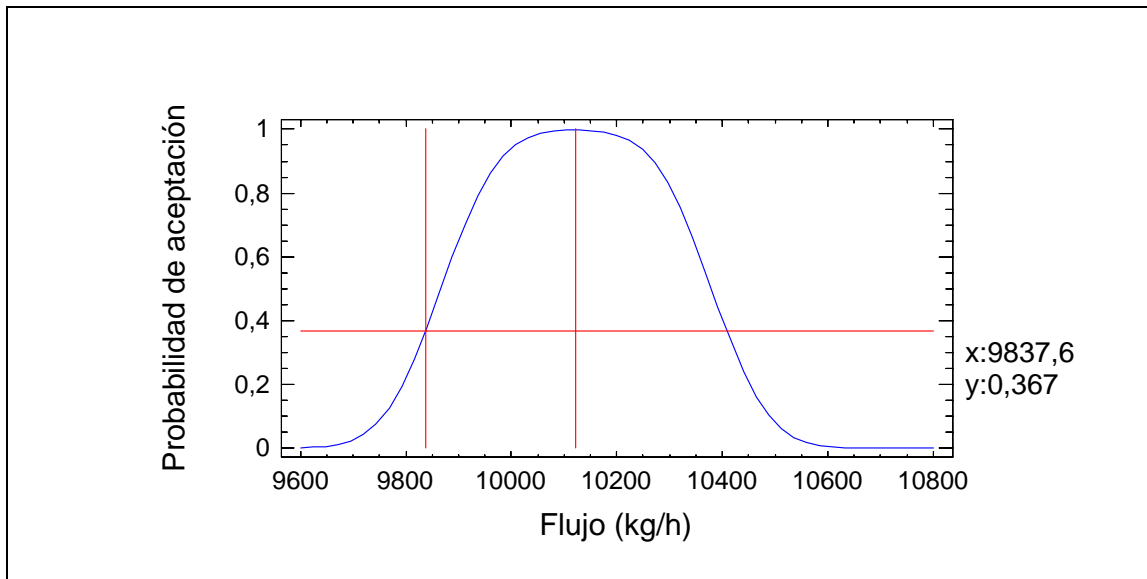
De acuerdo al análisis estadístico de los flujos de alimentación del proceso, este se desarrolla bajo control estadístico, no teniendo ningún subgrupo fuera de los límites de control, tanto en el gráfico X – barra como S.



**FIGURA 13 Curva OC, curva característica de operaciones para el flujo de alimentación del proceso.**

La gráfica de la Curva OC muestra la distribución de la probabilidad de detectar ciertos desajustes en el gráfico de control. Es la aceptación en función del promedio de la muestra, la probabilidad de aceptar o rechazar un cambio en la media del proceso. Se utiliza como probabilidad de alarma antes que el proceso se salga de control (CHASE **et al.**, 2001).

La FIGURA 14 muestra la Curva OC del flujo de alimentación de la línea de proceso. Al contar con un monitoreo permanente del proceso se puede determinar de manera instantánea, cuando el proceso salga de los límites de control. La FIGURA 15, indica la probabilidad de que una media de un subgrupo caiga dentro de los límites de control, ejemplo la media de un subgrupo es 9837,6 kg/h el cual se encuentra fuera de los límites de control, la probabilidad de estar dentro de los límites de producción es de 36,7 %, por tanto, la probabilidad de tener un valor fuera de los límites de control es del 63,3% probabilidad alta, suficiente como para tomar precauciones en el proceso.

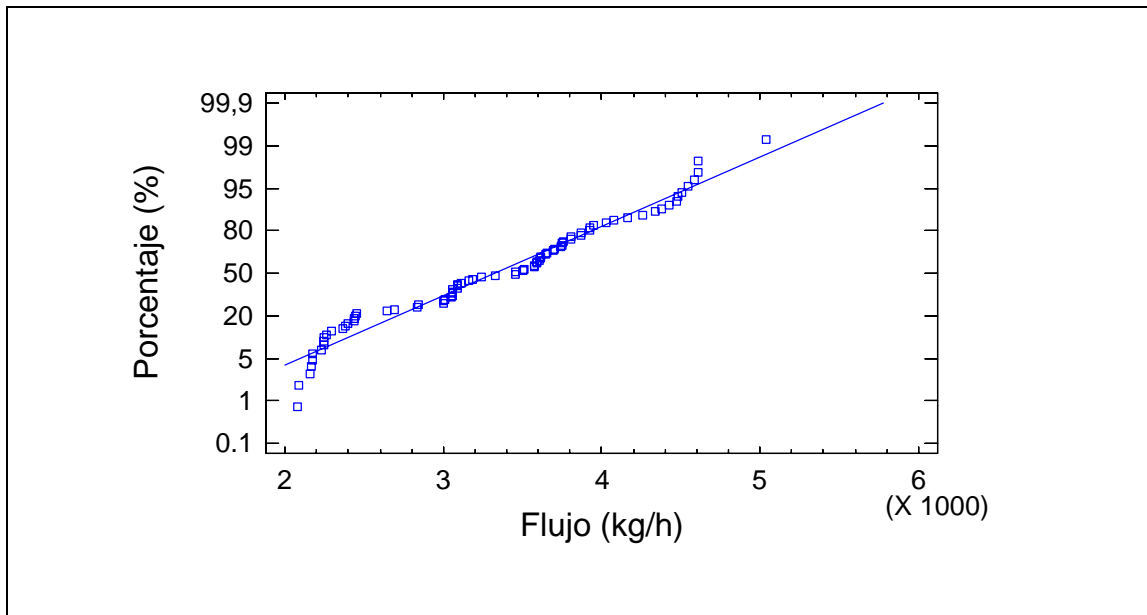


**FIGURA 14 Probabilidad de alarma entre los límites para el flujo de alimentación, si la media pasa a ser 9840,48 kg/h.**

De acuerdo a las especificaciones (ANEXO 4) la cinta de arrastre tiene una capacidad de 12 toneladas hora. Los datos analizados demuestran una intermitencia en la alimentación del proceso; de acuerdo a esto se plantea la probabilidad de aumentar el flujo promedio de 10122,88 kg/h (FIGURA 12) en un 15 %, ya que la capacidad de operación del equipo es mayor al flujo promedio evaluado.

- **Funcionamiento del escaldador.**

De acuerdo a las especificaciones de lo equipos, que maneja la empresa, el escaldador tiene una capacidad operativa de 4 ton/hr. Se toma muestras por 20 días, en los cuales de se tomaron cada 4 horas, teniendo un total de 80 datos.



**FIGURA 15 Gráfico de normalidad de los datos de flujo de alimentación al Sistema P – 300, escaudador.**

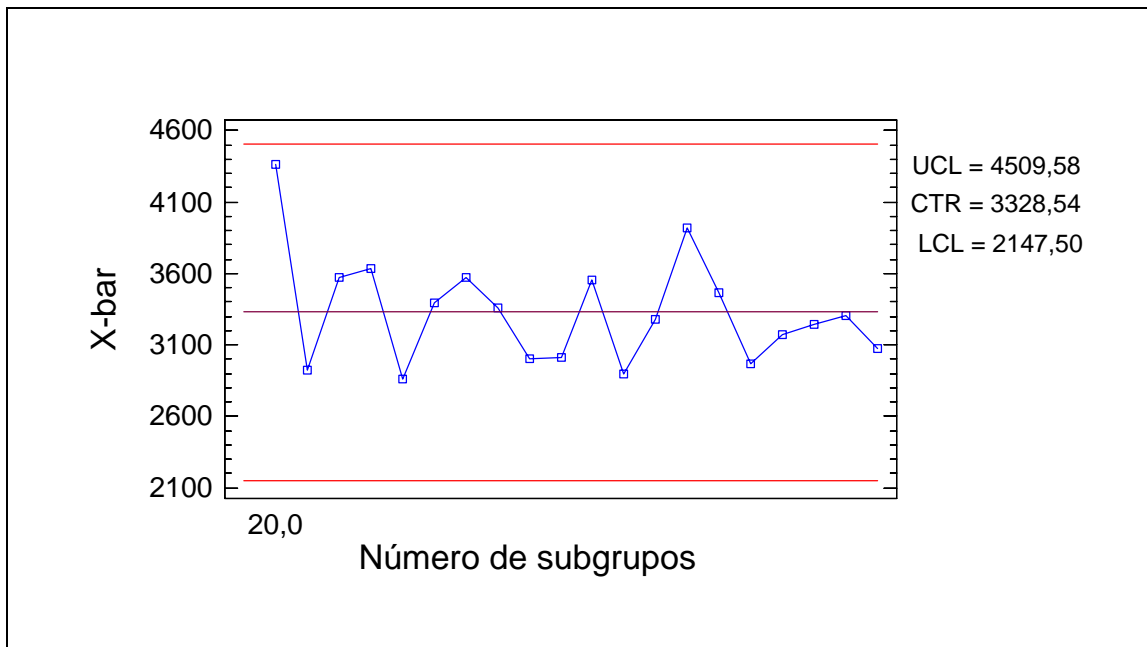
La FIGURA 15, muestra que los datos siguen aproximadamente una distribución normal. Se considera una distribución normal con el fin de aplicar las cartas de control a la operación de escaudado.

Con el fin de identificar los cambios de flujo en el proceso se han elaborado las cartas de control para los flujos de alimentación de la línea de proceso. La carta de control utilizada es la del promedio y la desviación estándar ( $\bar{X}$  y S). Los límites de control para las medias son calculados utilizando un factor de control de 3-sigma. El periodo de tiempo en el cual se tomaron los datos se estimó que fuese lo suficientemente amplio como para que hayan cambios de turno, variabilidad en la materia prima, horas de punta etc. La estimación de los parámetros será, además, una tarea que ha de someterse a revisión periódica.

Como resultado del Gráfico X-barra FIGURA 17, se indica como límite superior de control (UCL) 4509,58 kg/h, límite central de control (CTR) 3328,54 kg/h y límite inferior de control (LCL) 2147,50 kg/h. El gráfico S-barra FIGURA 18, establece un límite superior de control (UCL) de 1643,81, límite central de control (CTR) 725,41 y límite inferior de control (LCL) de 0,00 respecto a la desviación estándar de los subgrupos.

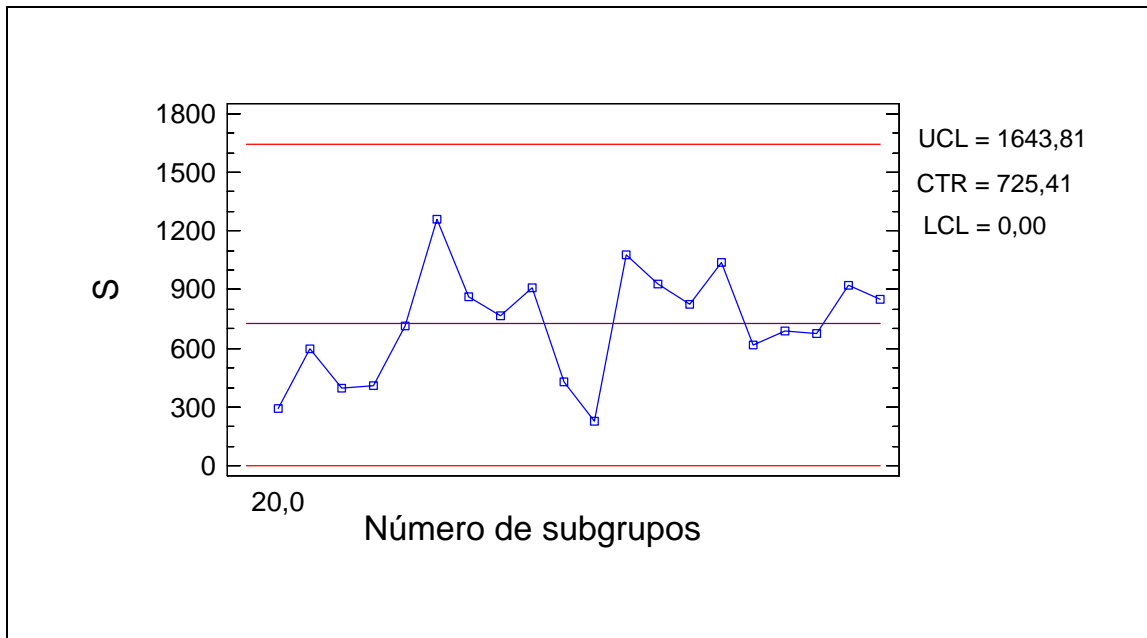
De acuerdo al análisis estadístico de los flujos de alimentación del proceso, este se desarrolla bajo control estadístico, no teniendo ningún subgrupo fuera de los límites de control, tanto en el gráfico X – barra como S.

Luego del análisis descriptivo se aplica la carta de control para 80 datos en total, evaluados con 20 subgrupos cada uno, con un tamaño de muestra de  $n = 4$ .



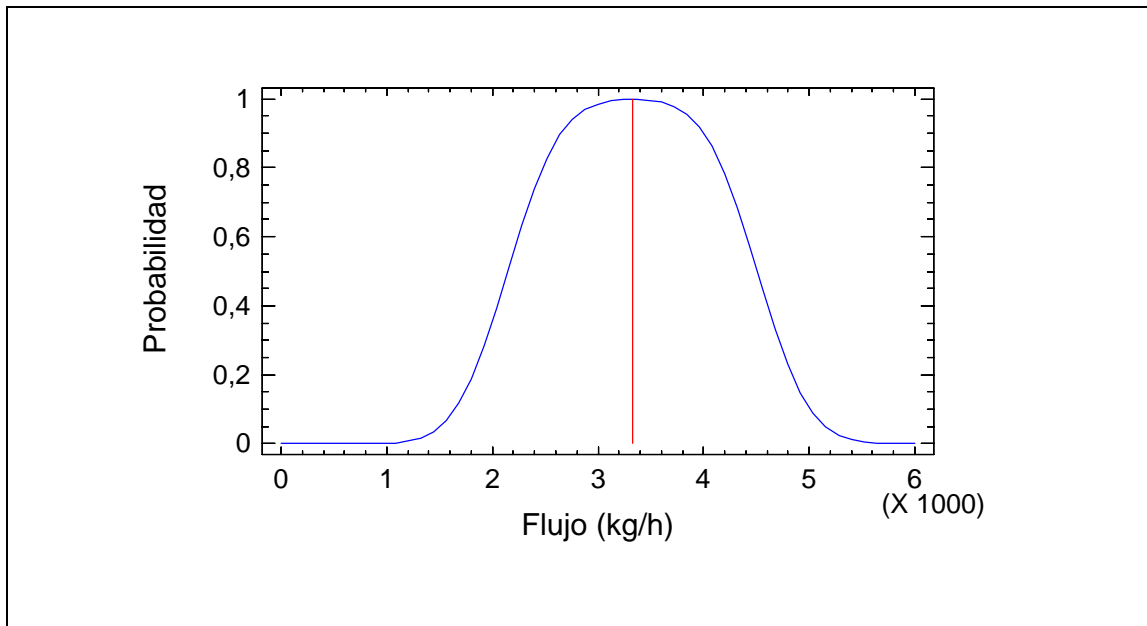
**FIGURA 16** Gráfico X – barra; flujo de alimentación del escaldador.





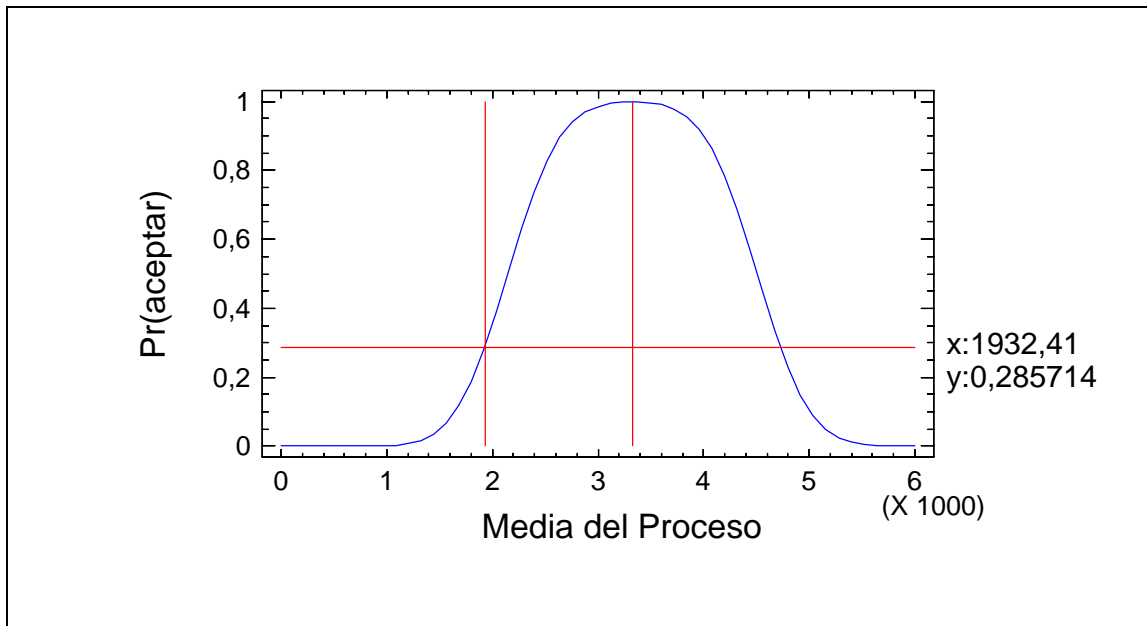
**FIGURA 17 Gráfico S – barra, de los flujos de alimentación al escalador, respecto a la desviación estándar de los subgrupos.**

El análisis de los gráficos X – bar y S para los flujos de alimentación del escalador, nos permite determinar que los datos se encuentran dentro de un control estadístico. De los 20 puntos graficados ninguno de encuentra fuera de los límites de control.



**FIGURA 18** Curva OC, curva de característica de operación para el flujo de alimentación del escaudador.

La FIGURA 18 muestra la Curva OC del flujo de alimentación de la línea de proceso. Al contar con un monitoreo permanente del proceso se puede determinar de manera instantánea, cuando el proceso salga de los límites de control. La FIGURA 20, indica la probabilidad de que una media de un subgrupo caiga dentro de los límites de control; ejemplo la media de un subgrupo es 1932,41 kg/h el cual se encuentra fuera de los límites de control, la probabilidad de estar dentro de los límites de producción es de 28,57 %, por tanto, la probabilidad de tener un valor fuera de los límites de control es del 71,43% probabilidad alta, suficiente como para tomar precauciones en el proceso.

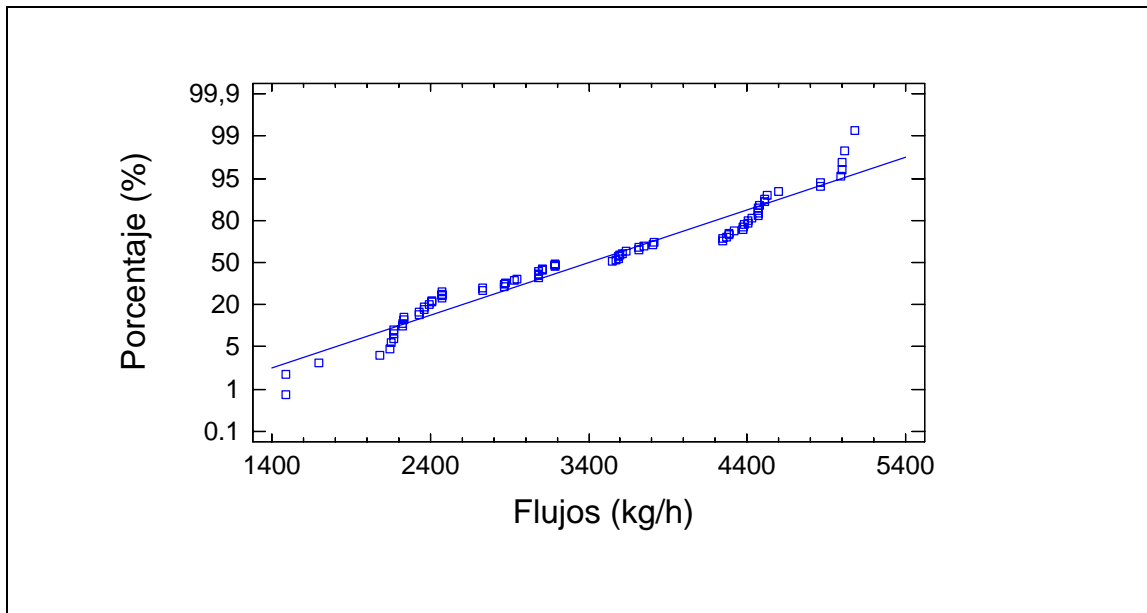


**FIGURA 19** Probabilidad de alarma entre los límites, si la media del flujo de alimentación del escaudador pasa a ser 1923,85 kg/h.

La capacidad operativa del escaudador solo se aprovecha un 83,21%, lo cual tiene una incidencia directa en los costos de utilización de los servicios como el vapor, combustible, agua entre otros.

- **Funcionamiento del Equipo IQF**

De acuerdo a las especificaciones de los equipos, que maneja la empresa el congelador IQF tiene una capacidad de 5 ton/hr. Se toman muestras por 20 días en los cuales se tomaron cada 4 horas, teniendo un total de 80 datos.



**FIGURA 20 Gráfico de la normalidad de los datos de flujo de alimentación al equipo IQF.**

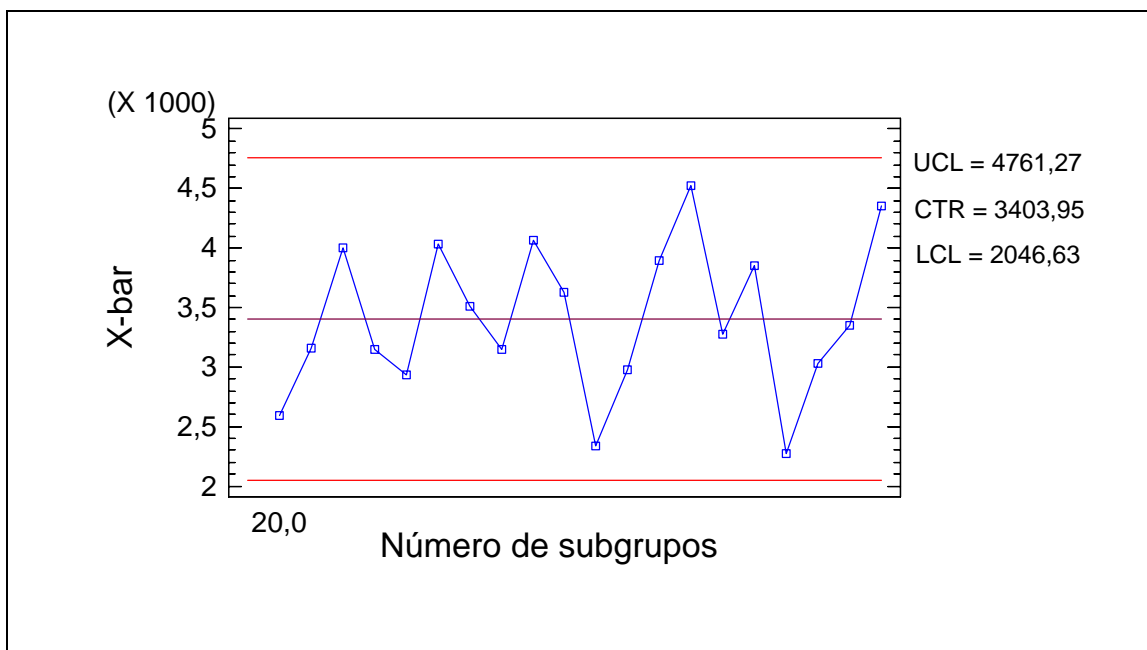
La FIGURA 20, muestra que los datos siguen aproximadamente una distribución normal. Se aplica las cartas de control X- barra y S. Muestra que los datos siguen aproximadamente una distribución normal. Se considera una distribución normal con el fin de aplicar las cartas de control a la operación de escaldado.

Con el fin de identificar los cambios de flujo en el proceso se han elaborado las cartas de control para los flujos de alimentación de la línea de proceso. La carta de control utilizada es la del promedio y la desviación estándar ( $\bar{X}$  y S). Los límites de control para las medias son calculados utilizando un factor de control de 3-sigma. El periodo de tiempo en el cual se tomaron los datos se estimo que fuese lo suficientemente amplio como para que hayan cambios de turno, variabilidad en la materia prima, horas de punta etc. La estimación de los parámetros será, además, una tarea que ha de someterse a revisión periódica.

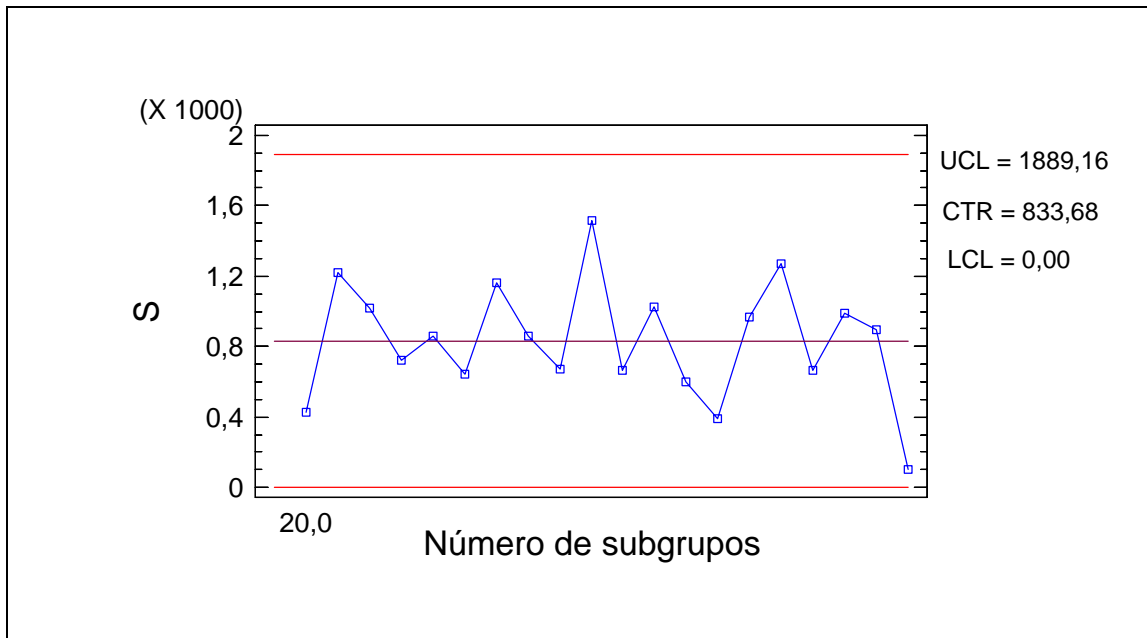
Como resultado del Gráfico X-barra FIGURA 22, se indica como límite superior de control (UCL) 4761,27, límite central de control (CTR) 3403,95 kg/h y límite inferior de control (LCL) 2046,63. El gráfico S-barra FIGURA 23, establece un límite superior de control (UCL) de 1899,16, límite central de control (CTR) 833,68 y límite inferior de control (LCL) de 0,00 respecto a la desviación estándar de los subgrupos.

De acuerdo al análisis estadístico de los flujos de alimentación del proceso, este se desarrolla bajo control estadístico, no teniendo ningún subgrupo fuera de los límites de control, tanto en el gráfico X – barra como S.

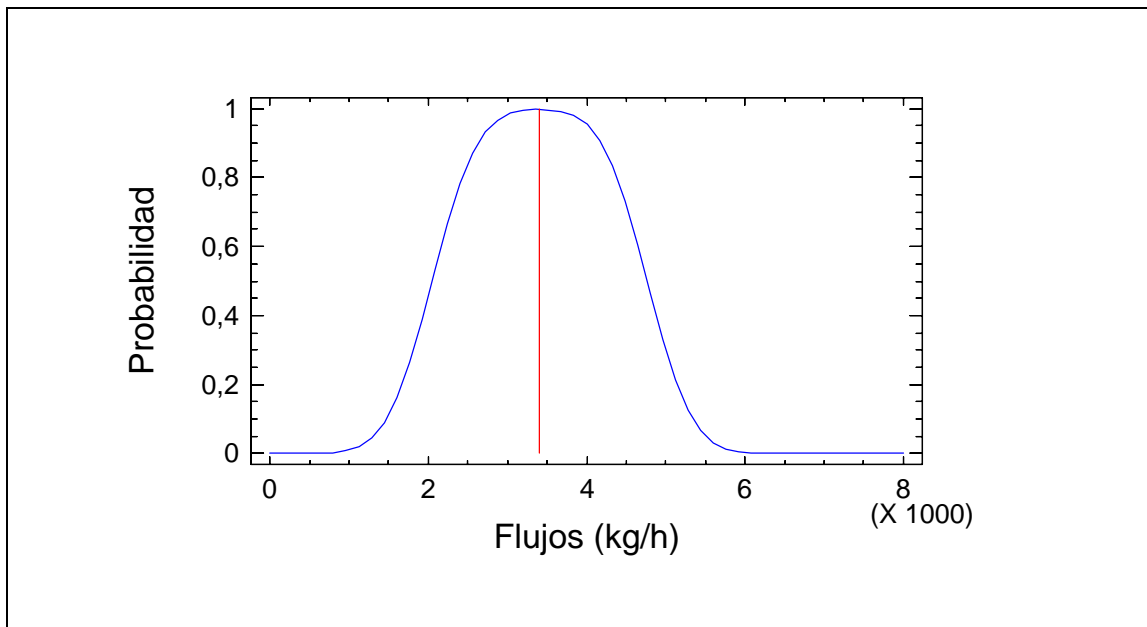
Luego del análisis descriptivo se aplica la carta de control para 80 datos en total, evaluados con 20 subgrupos cada uno, con un tamaño de muestra de  $n = 4$ .



**FIGURA 21** Gráfico X – barra, de los flujos de alimentación al equipo IQF.

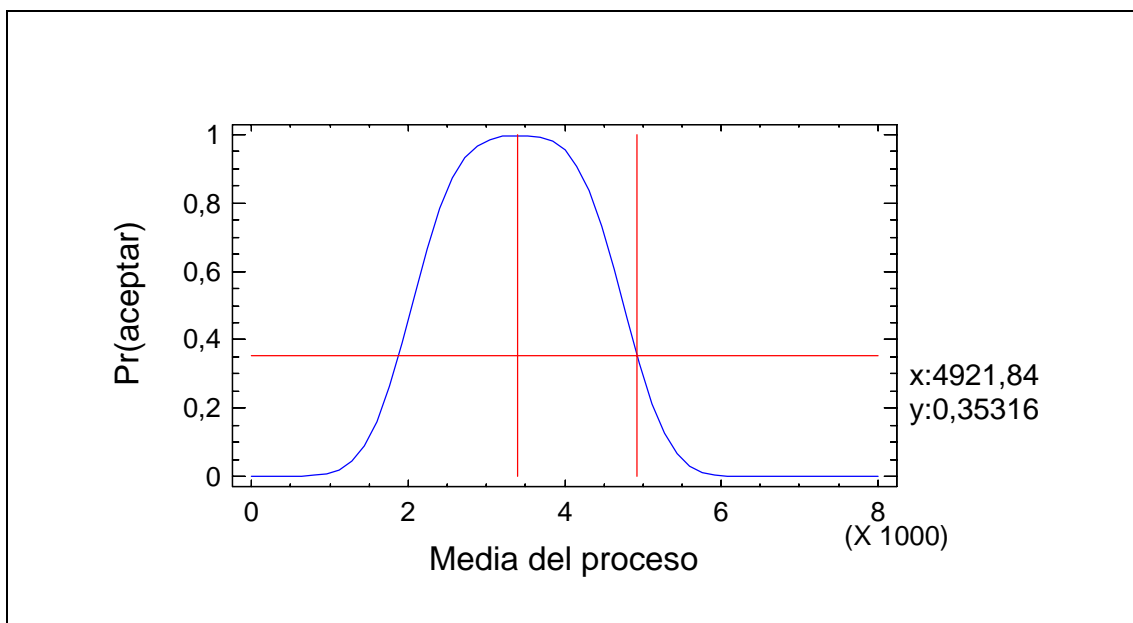


**FIGURA 22** Gráfico S- barra, de los flujos de alimentación del equipo IQF, respecto a la desviación estándar de los subgrupos.



**FIGURA 23** Curva OC, curva característica de operación para el flujo de alimentación del equipo IQF.

La FIGURA 23 muestra la Curva OC del flujo de alimentación de la línea de proceso. Al contar con un monitoreo permanente del proceso se puede determinar de manera instantánea, cuando el proceso salga de los límites de control. La FIGURA 24, indica la probabilidad de que una media de un subgrupo caiga dentro de los límites de control; ejemplo la media de un subgrupo es 4921,84 kg/h el cual se encuentra fuera de los límites de control, la probabilidad de estar dentro de los límites de producción es de 35,32 %, por tanto, la probabilidad de tener un valor fuera de los límites de control es del 64,68% probabilidad alta, suficiente como para tomar precauciones en el proceso.

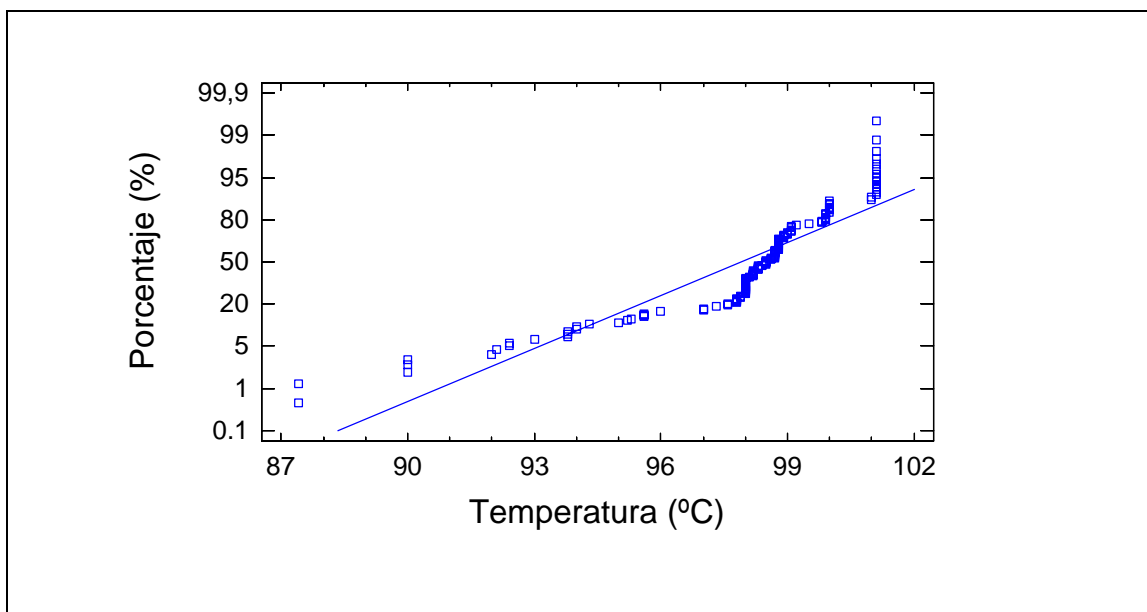


**FIGURA 25 Probabilidad de alarma entre los límites si la media para el flujo de alimentación del equipo IQF pasa a ser 4921,82 kg/h.**

El controlar los flujos de alimentación a los equipos, no solo es importante desde el punto de vista que este sea continuo para lograr una mayor eficiencia, sino también determinar una capacidad óptima de proceso, la que dependerá de la disponibilidad de la materia prima, capacidad de los equipos y calidad del producto terminado, entre otras.

#### 4.4. Evaluación de los parámetros de trabajo del equipo escaldado, hidrocooler y congelador IQF

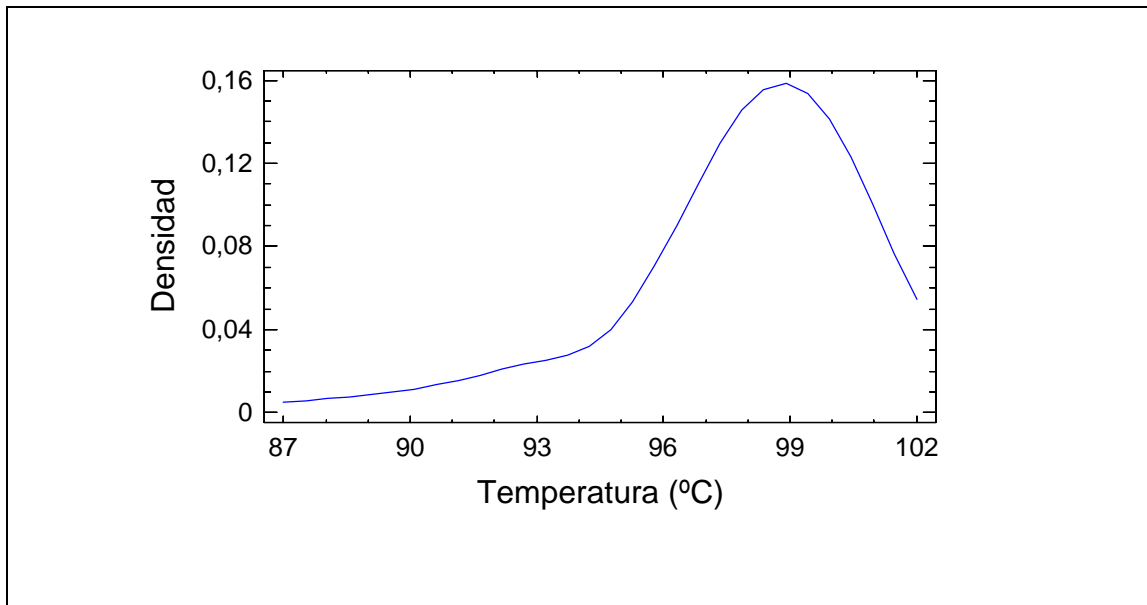
**Escaldador.** Se evaluó la temperatura del vapor del equipo escaldador; para poder cumplir el objetivo de la operación de escaldado, la temperatura de trabajo no debe ser inferior a 85 °C, valor clasificado como límite crítico, valor fijado por la empresa evaluada. El registro de la temperatura se realizó de la forma directa del termómetro digital incorporado al equipo escaldador.



**FIGURA 25** Gráfico de la normalidad de los datos de la temperatura del vapor en el equipo escaldador.

Los datos registrados no tienen una distribución normal según la curva; a pesar de no cumplir con los requerimientos para la aplicación de las cartas de control, se desarrollará de igual manera, dejando en claro que las conclusiones pueden no corresponder al comportamiento del proceso, en este caso en particular.

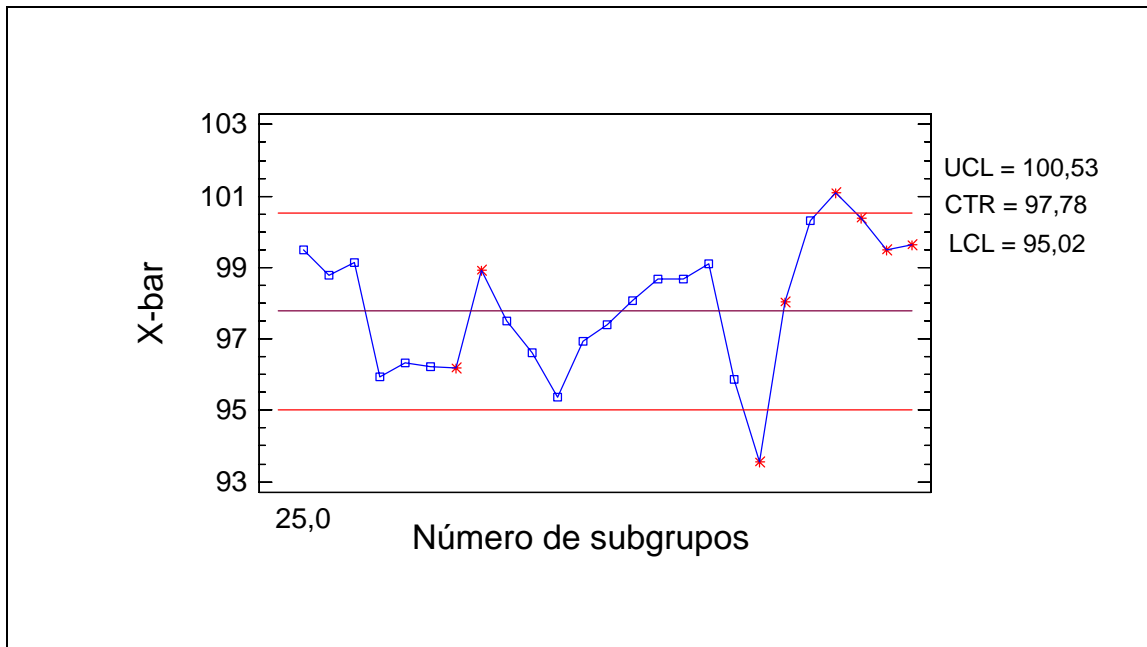




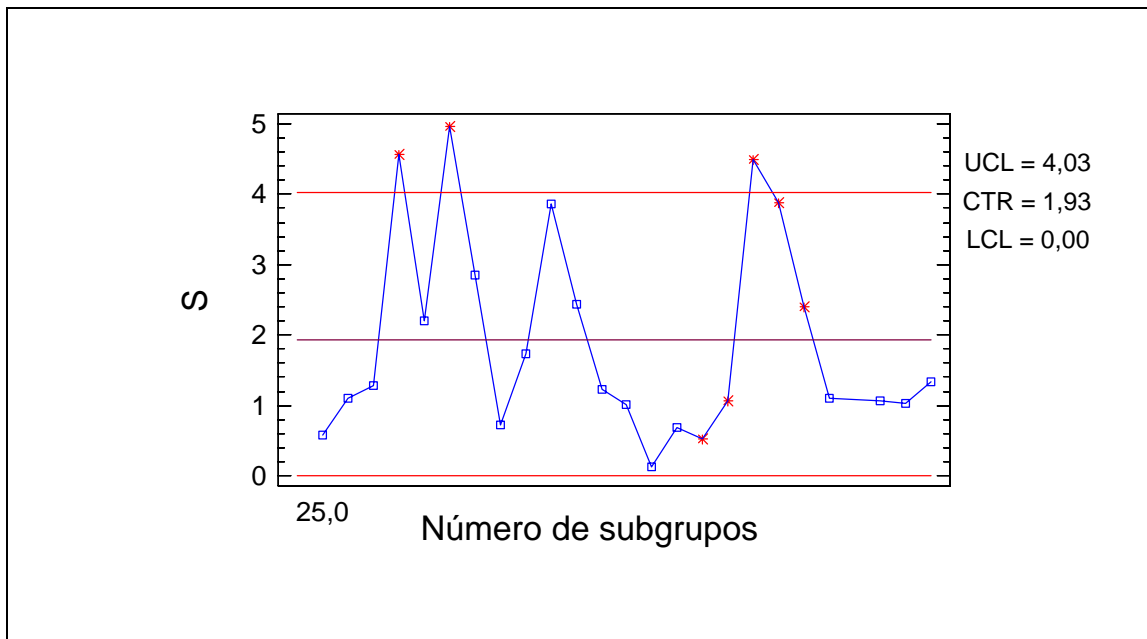
**FIGURA 26** Curva de distribución para la temperatura del escaldador.

Los datos para la temperatura del vapor del escaldador no poseen una distribución de acuerdo a la curva de Gauss.

Se evalúa, el proceso de escaldado de acuerdo a los datos obtenidos ya que ninguno de los datos es inferior al límite crítico y se crearon las cartas de control considerando que los datos tuviesen una distribución de normalidad en la curva de Gauss.



**FIGURA 27** Gráfico X – barra. Temperatura del vapor del equipo escaldador.



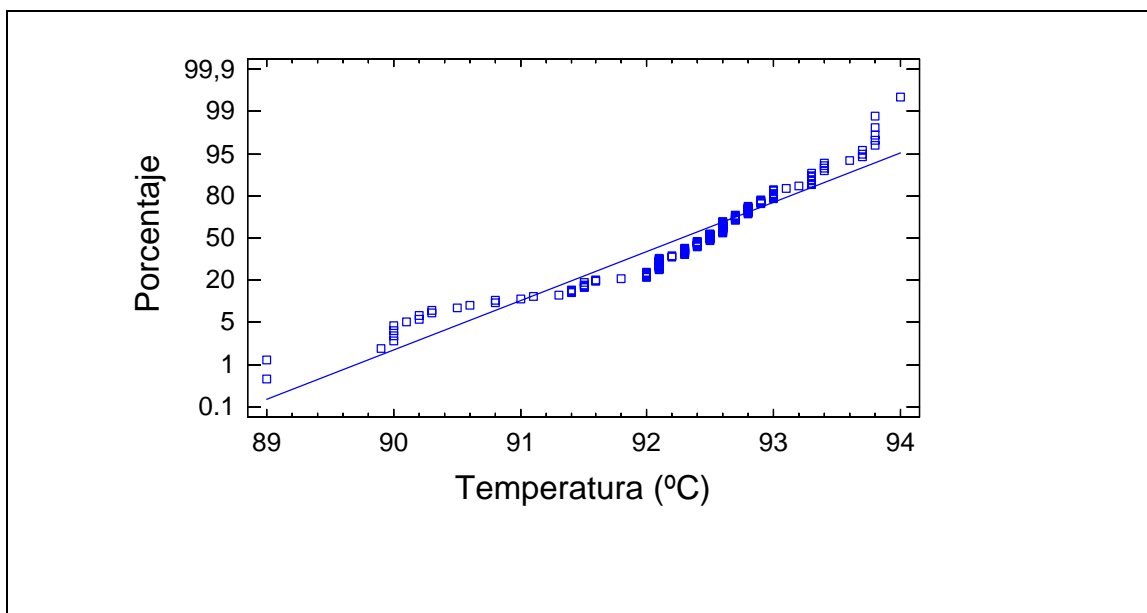
**FIGURA 28** Gráfico S – barra. Temperatura del vapor del equipo escaldador, respecto a la desviación estándar de los subgrupos.

El análisis del gráficos X – bar para la temperatura de trabajo del equipo escaldador, nos permiten determinar que los datos no se encuentran dentro de un control estadístico. De los 20 puntos graficados 2 se encuentra fuera de los límites de control. Los datos muestreados correspondientes a la temperatura de trabajo del equipo escaldador, presentan una media de 97,8 °C, Sigma del Proceso 2,1 y Sigma media 1,9. En el gráfico S, hay 3 puntos fuera de los límites de control.

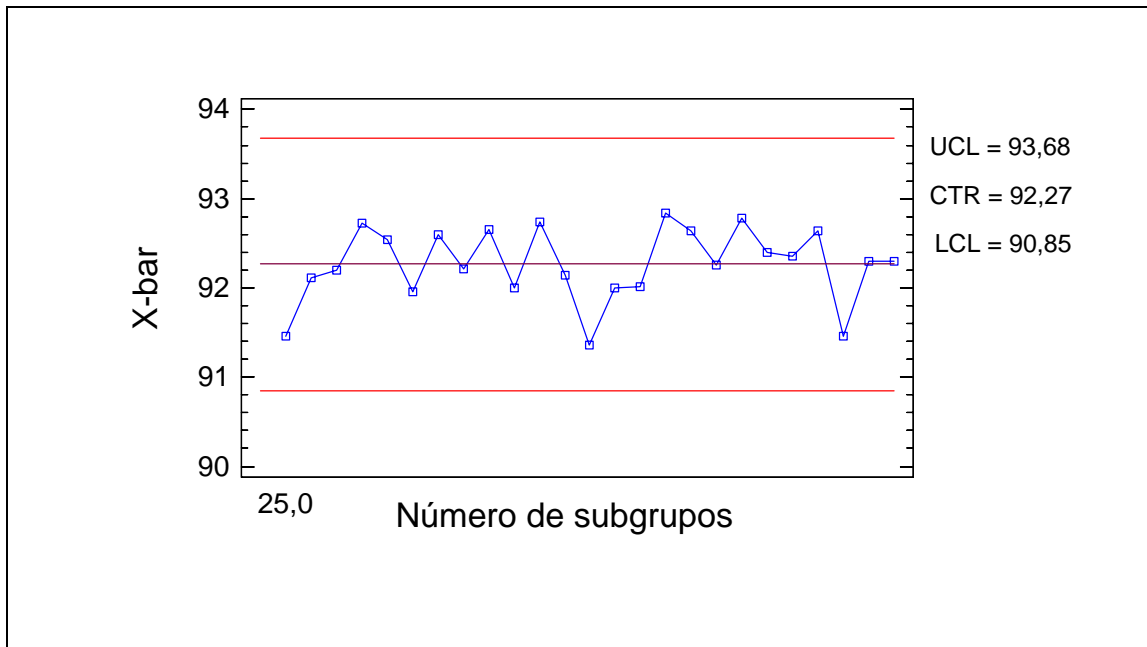
Si bien de acuerdo a los datos que reflejan las cartas de control, el proceso esta fuera de control estadístico, solo se puede considerar como alerta del proceso, ya que todo las temperaturas medidas son superiores a 85°C, lo cual es suficiente para la temperatura de trabajo establecida por la empresa.

Para poder precisar una observación más contundente de los resultados obtenidos, se deberá evaluar primero los posibles errores ya sea en el equipo, como los termómetros digitales, el plan de muestreo. Finalmente realizar una evaluación del proceso, ya que quizás sea necesario establecer otros límites de control del proceso.

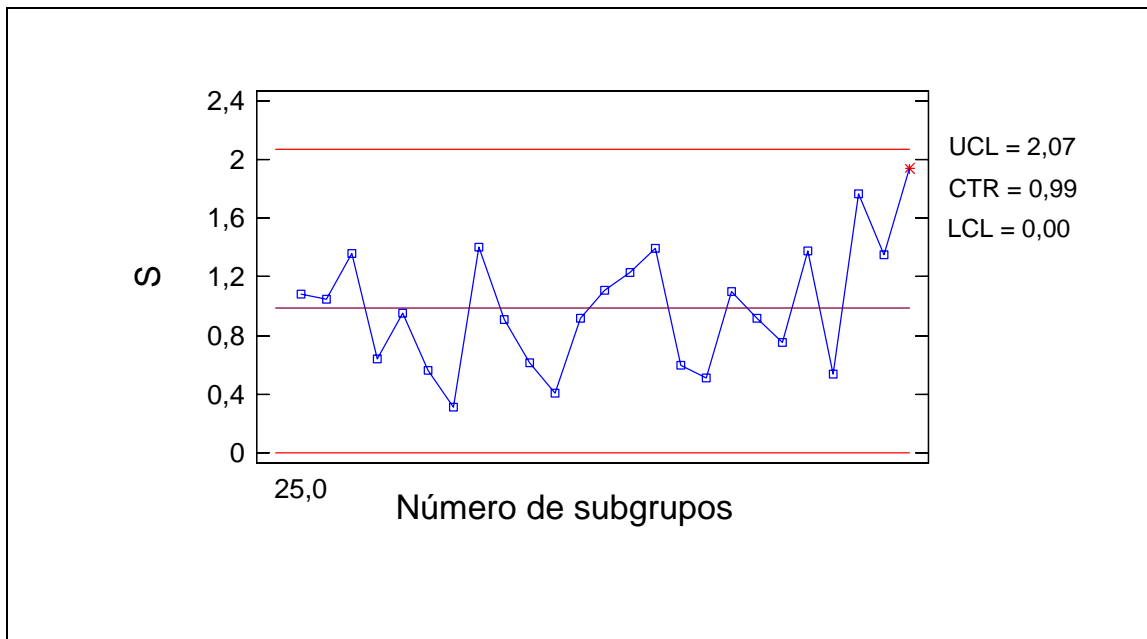
- **Temperatura de los granos de maíz escaldados**



**FIGURA 29** Gráfico de la normalidad para temperatura de escaldado del maíz.



**FIGURA 30** Gráfico X – barra para temperatura del maíz escaldado.



**FIGURA 31** Gráfico S – barra para la temperatura del maíz escaldado, respecto a la desviación estándar de los subgrupos.

El análisis de los gráficos X – bar y S para los flujos de alimentación del escaldador, nos permite determinar que los datos se encuentran dentro de un control estadístico. De los 20 puntos graficados ninguno de encuentra fuera de los límites de control.

Los datos muestreados correspondientes al flujo de alimentación del congelador IQF, presentan una media de 92,3°C, Sigma de la media del Proceso 1,05 y Sigma media 0,99.

### **Índices de capacidad para temperatura del grano escaldado**

Una vez que se comprueba que el proceso esta bajo control, existe el interés de saber si es un “*proceso capaz*”, es decir, si cumple con las especificaciones técnicas deseadas.

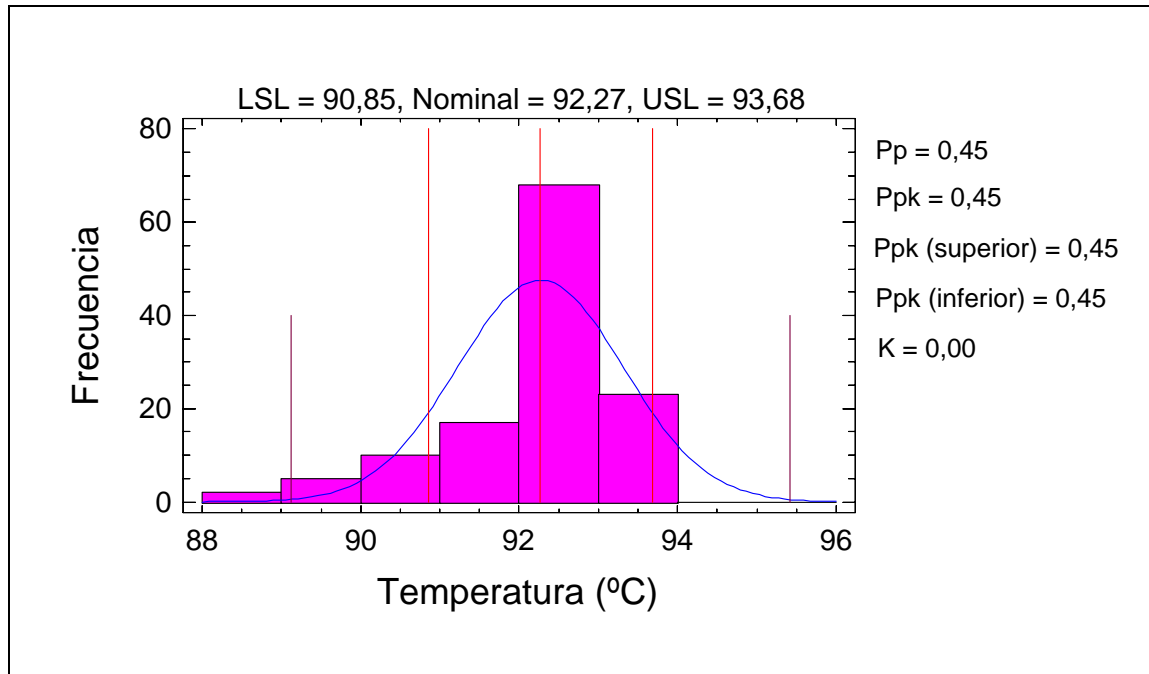
Para determinar si un proceso es o no capaz, se utilizan también los llamados *Índices de Capacidad*, que esta determinado por los cocientes entre la variación natural del proceso y el nivel de variación especificada. Se estima que para que un proceso sea considerado capaz, su variación actual no debería representar más del 75% de la variación permitida (SANGÜEZA **et al.**, 2006).

Los índices de capacidad asociados con la variación a corto plazo son Cp, Cpk, CPU, y CPL; por otro lado, los asociados con la variación a largo plazo son Pp, Ppk, PPU, y PPL. En la práctica, se suele considerar que 1,33 es el valor mínimo aceptable para un índice de capacidad (es decir, cualquier valor por debajo de esta cifra indicaría que, aunque esté bajo control estadístico, el proceso no cumple con las especificaciones deseadas).

Cpk, es un indicador de la capacidad del proceso basado en la variación del proceso entre el subgrupo. Ppk, se considera como un índice de desarrollo del proceso, la variación del sigma es basada en la variación total (todos los datos de las muestras individuales que usan la desviación estándar. Cpk puede calcularse cuando el proceso es estable. Ppk debe usarse para los procesos con las causas especiales conocidas y predecibles y rendimiento que se encuentran las especificaciones. (SANGÜEZA **et al.**, 2006).

- **Especificaciones 6 sigma, con una variación a largo plazo.**

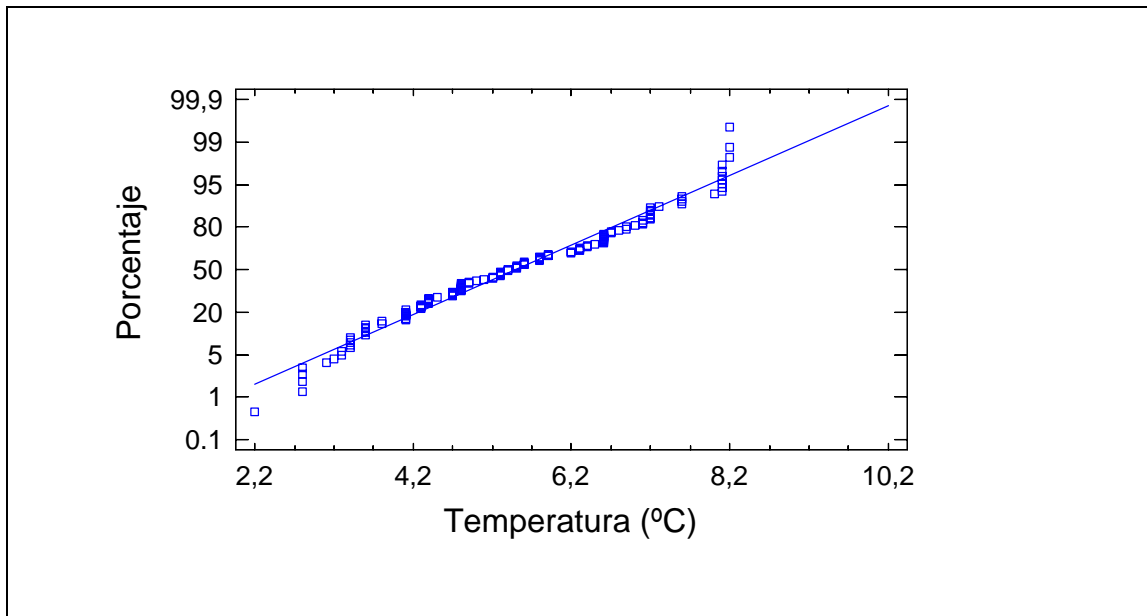
Se realizó el análisis para determinar los índices de control a largo plazo, ya que son conocidas las causas conocidas.



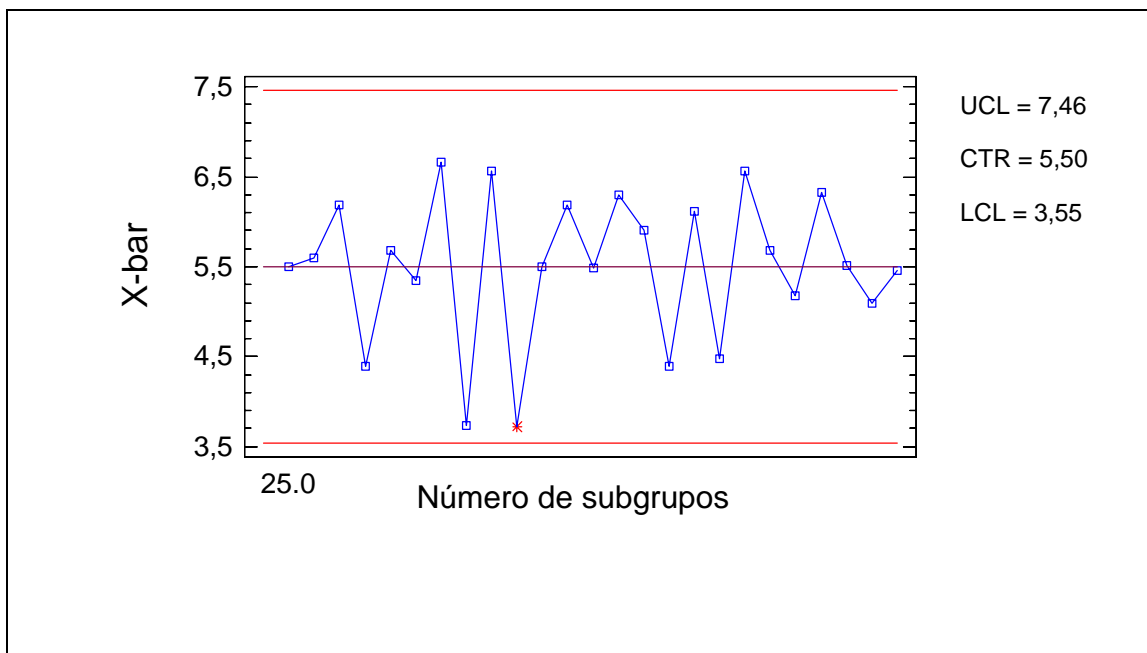
**FIGURA 32 Diagrama de la capacidad de proceso, para la temperatura de escaldado de los granos de maíz.**

Los índices, arrojados del análisis son inferiores a 1,33, por lo tanto se concluye que el proceso no cumple actualmente el criterio de aceptación. Ante esta determinación, la acción a seguir consiste en identificar, evaluar y, donde quiera que sea posible, eliminar causas de variación y se someterá a un plan de acción antes de cualquier decisión.

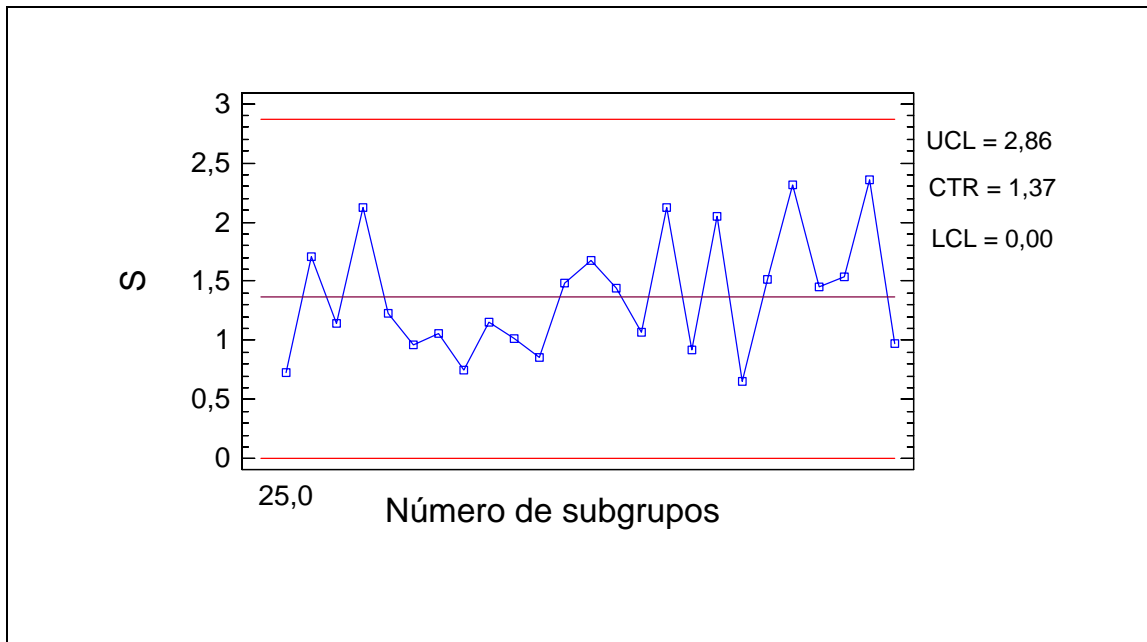
### Características del proceso de Hidroenfriado



**FIGURA 33** Gráfico de distribución de los datos respecto a la temperatura del agua del equipo hidrocooler.



**FIGURA 34** Gráfico X - barra para la temperatura del agua de enfriado del equipo hidrocooler.



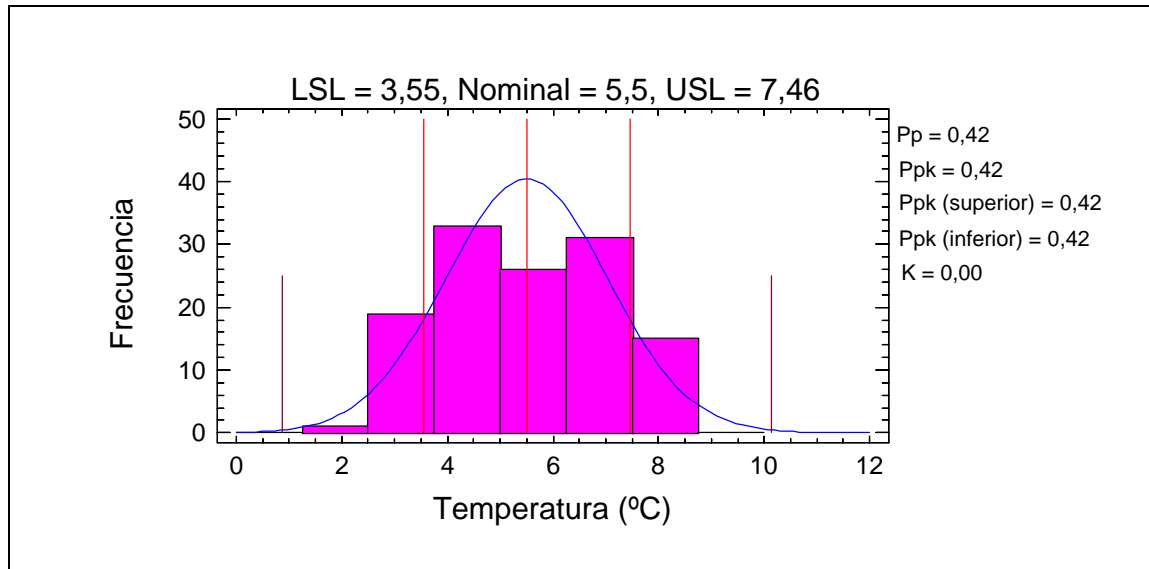
**FIGURA 35 Gráfico S – barra para la temperatura del agua de enfriado del equipo hidrocooler, respecto a la desviación estándar de los subgrupos.**

El análisis de los gráficos X – bar y S para la temperatura del agua de enfriado del equipos hidrocooler, nos permite determinar que los datos se encuentran dentro de un control estadístico. De los 20 puntos graficados ninguno de encuentra fuera de los límites de control.

Los datos muestreados correspondientes a la temperatura del agua del hidrocooler, presentan una media de 5,5 °C, Sigma del Proceso 1,45857 y Sigma media 1,37101.



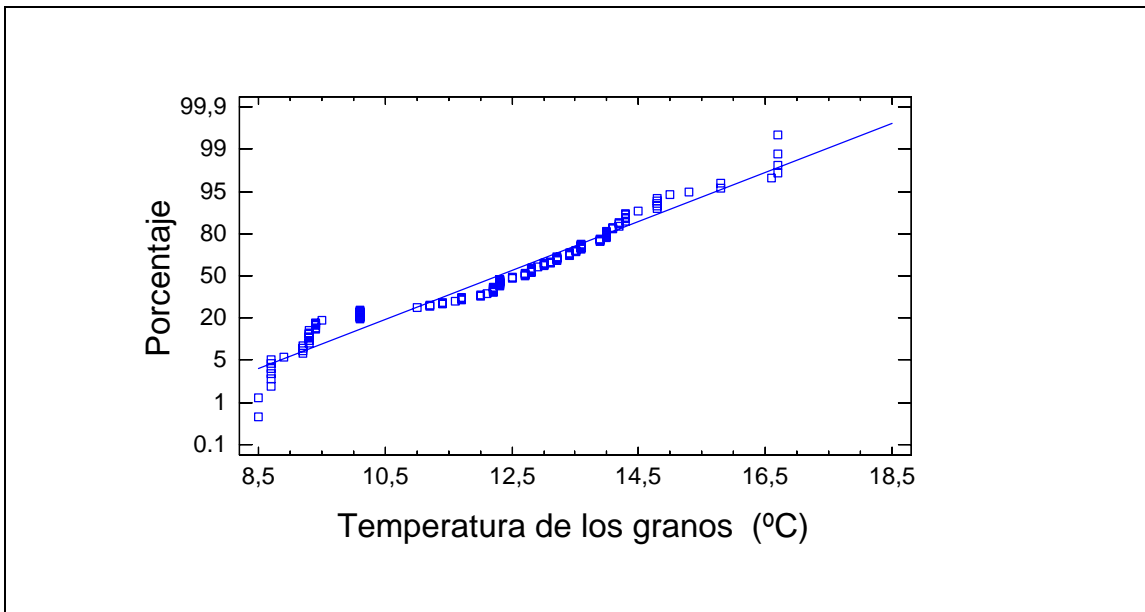
- Especificaciones, basado en las especificaciones 6 sigma, índices de capacidad con una variación a largo plazo.



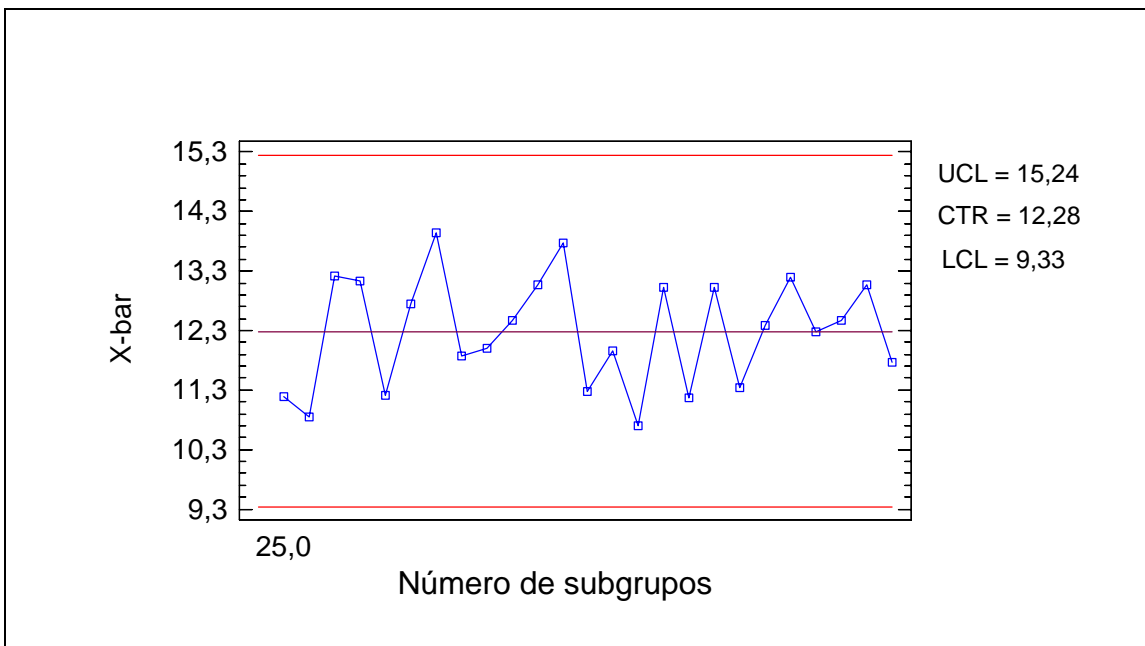
**FIGURA 36 Capacidad de Proceso para la temperatura del agua de enfriado del equipo hidrocooler.**

Los índices, arrojados del análisis son inferiores a 1,33, por lo tanto se concluye que el proceso no cumple actualmente el criterio de aceptación. Ante esta determinación, la acción a seguir consiste en identificar, evaluar y, donde quiera que sea posible, eliminar causas de variación y se someterá a un plan de acción antes de cualquier decisión.

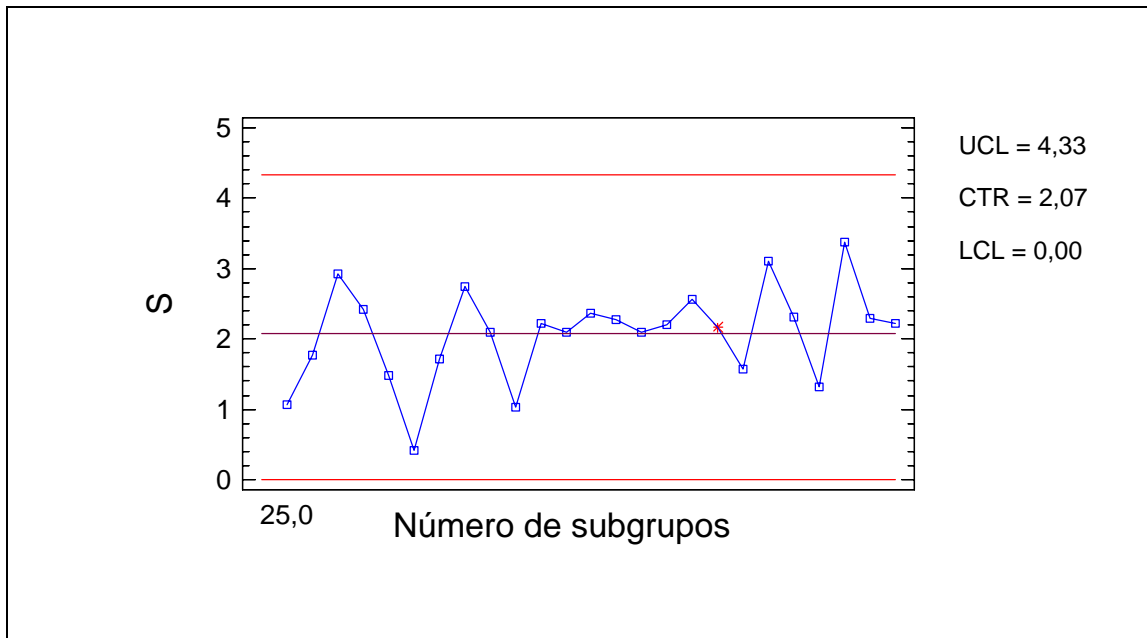
### Evaluación de la temperatura de los granos.



**FIGURA 37** Gráfico de distribución de los datos correspondientes a la temperatura de los granos de maíz enfriados.



**FIGURA 38** Gráfico X - barra para la temperatura de los granos enfriados

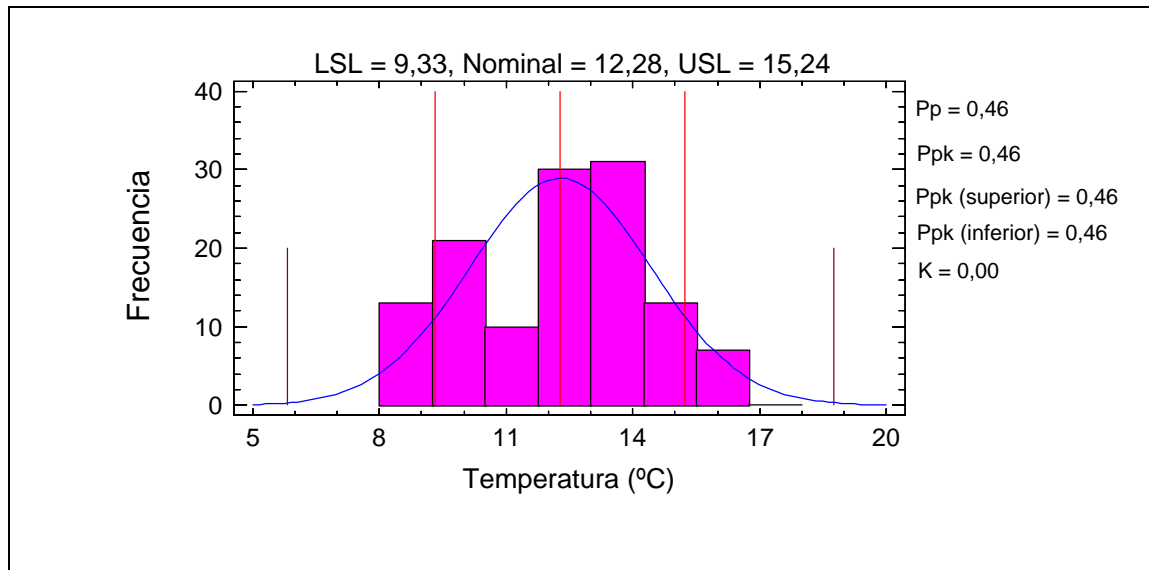


**FIGURA 40 Gráfico S – barra para los datos de temperatura de los granos enfriados, respecto a la desviación estándar de los subgrupos.**

El análisis de los gráficos X – bar y S para la temperatura de los granos de maíz enfriados, nos permite determinar que los datos se encuentran dentro de un control estadístico. De los 20 puntos graficados ninguno de encuentra fuera de los límites de control.

Los datos muestreados correspondientes a la temperatura de los granos de maíz enfriados, presentan una media de 12,3 °C, Sigma del Proceso 2,20472 y Sigma media 2,07238

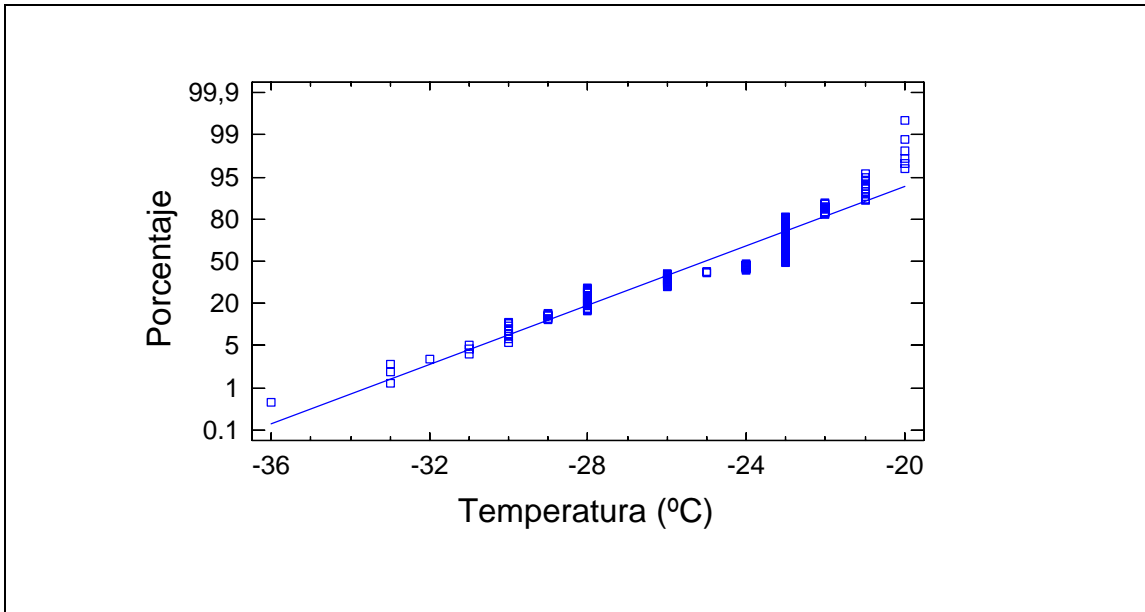
- **Especificaciones, basado en las especificaciones 6 sigma, índices de capacidad con una variación a largo plazo.**



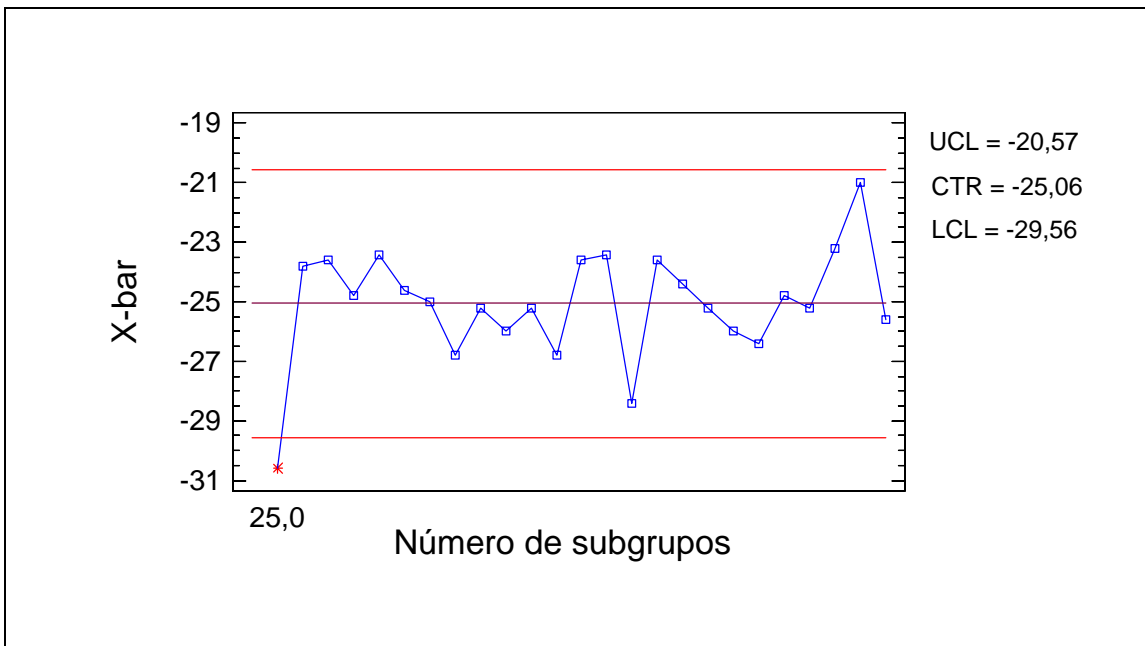
**FIGURA 40** Capacidad de proceso para la temperatura de los granos de maíz frío.

Los índices, arrojados del análisis son inferiores a 1,33; por lo tanto se concluye que el proceso no cumple actualmente el criterio de aceptación. Ante esta determinación, la acción a seguir consiste en identificar, evaluar y, donde quiera que sea posible, eliminar causas de variación y se someterá a un plan de acción antes de cualquier decisión.

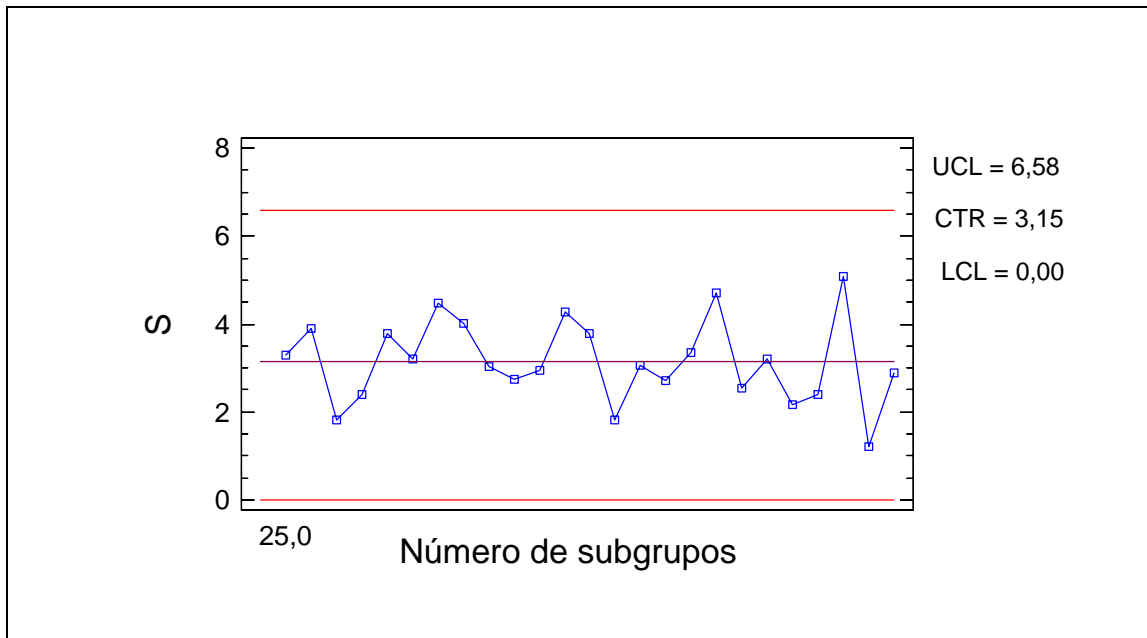
## Evaluación de los datos de la temperatura de trabajo del equipo IQF.



**FIGURA 41** Gráfico de probabilidad de los datos para la temperatura de trabajo del equipo de congelación IQF.



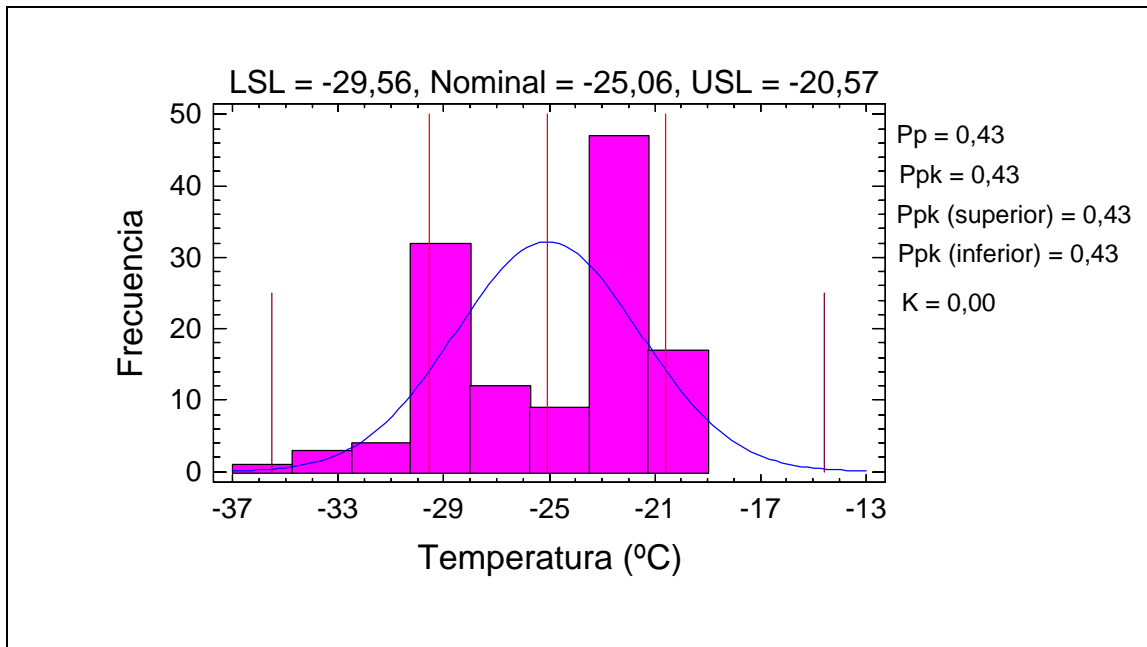
**FIGURA 42** Gráfico X – barra para la temperatura de trabajo del equipo de congelado IQF



**FIGURA 43 Gráfico S – barra para la temperatura de trabajo en el equipo de congelado IQF, respecto a la desviación estándar de los subgrupos.**

El análisis de los gráficos X – bar y S para la temperatura de los granos de maíz enfriados, permiten determinar que los datos se encuentran dentro de un control estadístico. De los 20 puntos graficados ninguno de encuentra fuera de los límites de control.

Los datos muestreados correspondientes a la temperatura de los granos de maíz enfriados, presentan una media de -25,1 °C, Sigma del Proceso 3,3523 y Sigma media 3,15107



**FIGURA 44 Capacidad del proceso, de acuerdo a la temperatura de trabajo del equipo de congelador IQF.**

Los índices, arrojados del análisis son inferiores a 1,33, por lo tanto se concluye que el proceso no cumple actualmente el criterio de aceptación. Ante esta determinación, la acción a seguir consiste en identificar, evaluar y, donde quiera que sea posible, eliminar causas de variación y se someterá a un plan de acción antes de cualquier decisión.

- Evaluación de la temperatura del producto congelado

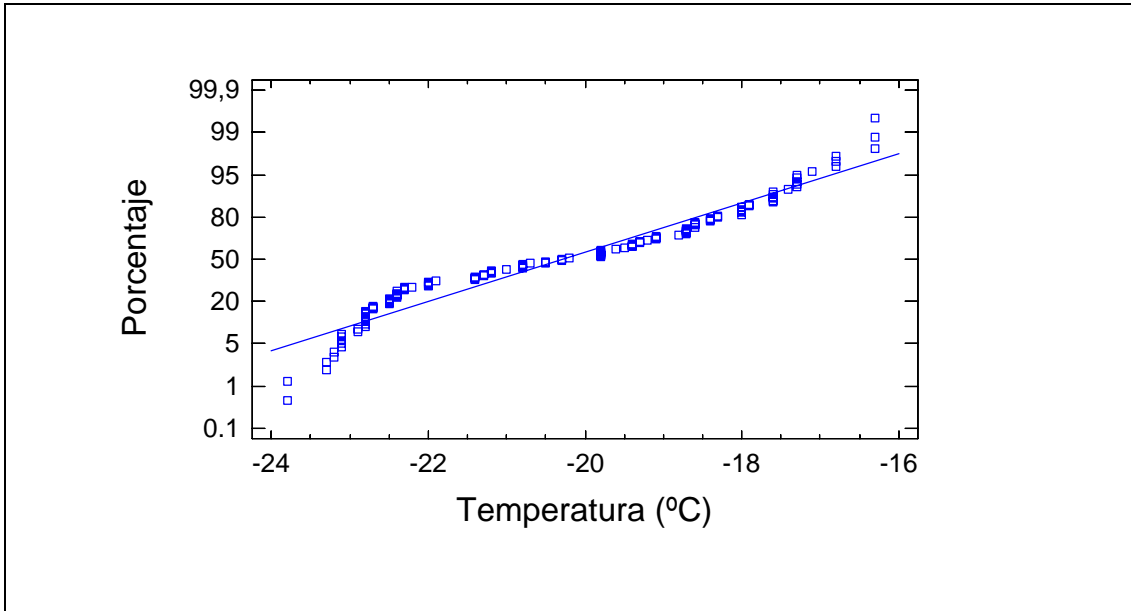


FIGURA 45 Gráfico de distribución de los datos de la temperatura de los granos de maíz congelados.

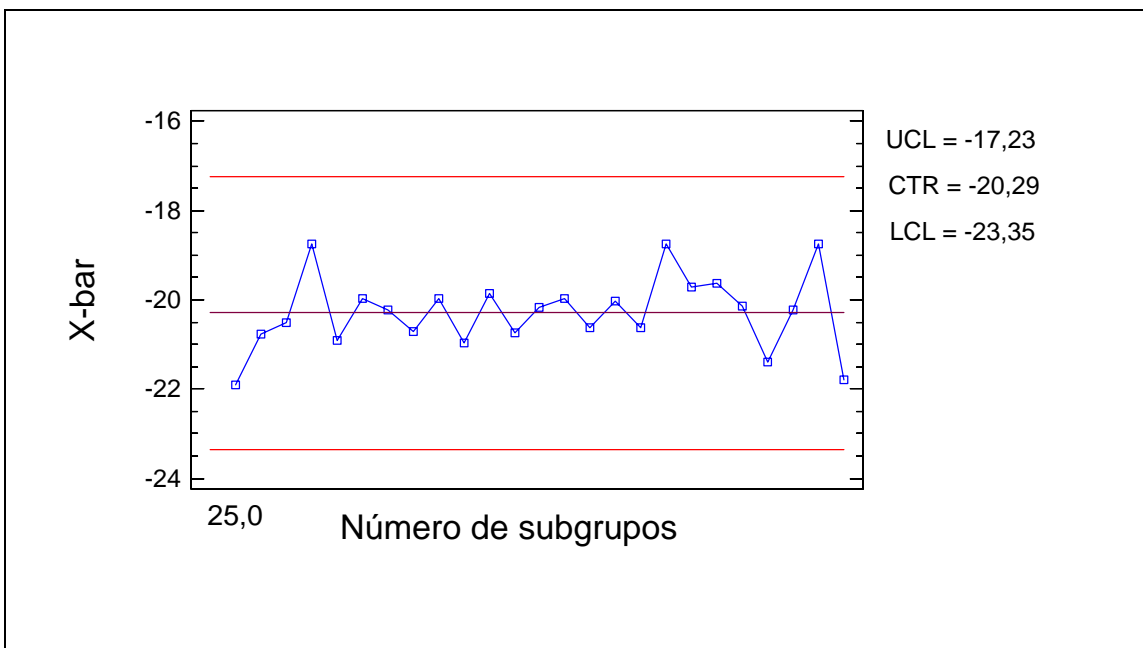
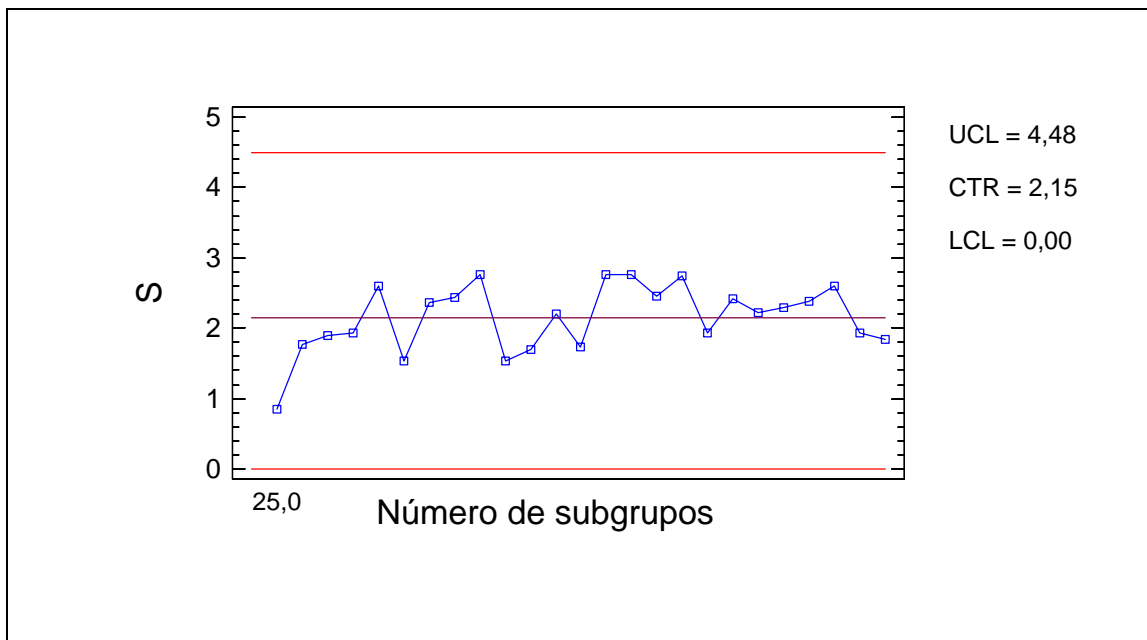


FIGURA 46 Gráfico X – barra de la temperatura de los granos congelado

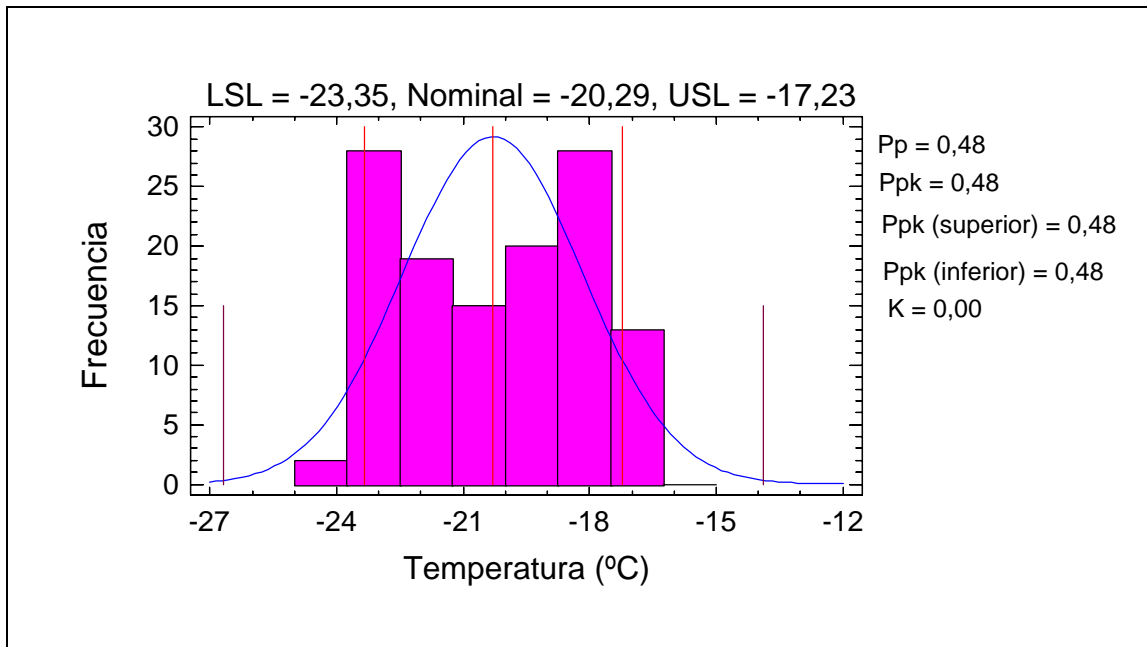




**FIGURA 47 Gráfico S – barra para la temperatura de los granos congelado, respecto a la desviación estándar de los subgrupos.**

El análisis de los gráficos X – bar y S para la temperatura de los granos de maíz enfriados, nos permite determinar que los datos se encuentran dentro de un control estadístico. De los 20 puntos graficados ninguno de encuentra fuera de los límites de control.

Los datos muestreados correspondientes a la temperatura de los granos de maíz enfriados, presentan una media de -20,3 °C, Sigma del Proceso 2,28371 y Sigma media 2,14665



**Figura 48 Capacidad del proceso, respecto a la temperatura de los granos de maíz congelados.**

Los índices, arrojados del análisis son inferiores a 1,33, por lo tanto se concluye que el proceso no cumple actualmente el criterio de aceptación. Ante esta determinación, la acción a seguir consiste en identificar, evaluar y, donde quiera que sea posible, eliminar causas de variación y se someterá a un plan de acción antes de cualquier decisión.

## 5 CONCLUSIONES

- ❖ Respecto de la representación del diagrama de flujo
  - Se logró elaborar el flujo del material, de acuerdo a la secuencia de operaciones del proceso, con la descripción de las áreas en términos de sus componentes de proceso. Cada proceso está descrito en términos de sus entradas y salidas.
  - El diagrama de flujo planteado en este trabajo, identifica cada uno de los equipos involucrados en el proceso agrupados por sección, pero no se logra presentar un diagrama con la información completa sobre las variables de funcionamiento de cada uno de los equipos; esto dado que el equipamiento de la empresa donde se desarrolló este análisis cuenta con equipos antiguos, no encontrándose registros, manuales ni información del fabricante relativo a las características técnicas de los equipos que conforman la línea de proceso de choclo congelado.
  
- ❖ Respecto al análisis del balance de masa del proceso:
  - Del análisis del balance de masa se concluye que para la línea de choclo analizada se genera gran pérdida de sólidos solubles en la etapa de corte del grano; principalmente generado por el mal estado de las cuchillas de corte de la desgranadora, con la consiguiente pérdida de producto y costos económicos asociados.
  - Establecer sencillas medidas de control de las pérdidas de sólidos solubles, tales como un mantenimiento adecuado de las cuchillas de

corte, trae consigo una disminución importante en las descargas y del consiguiente impacto ambiental asociado.

- Los registros de temperatura obtenidos a la salida del equipo escaldador y entrada del producto al equipo IQF, revelan un uso ineficiente de la energía provocando una disminución de eficiencia del ciclo de congelado.
- ❖ Respecto a determinar indicadores estadísticos y cartas de control que sirvan de apoyo a la mejora continúa de un Sistema Integrado de Gestión.
- Se analizaron las cuatro principales variedades de maíz procesadas en la temporada de evaluación; respecto a su rendimiento no existe diferencia significativa. En cuanto a la humedad y concentración de sólidos solubles, si se encontraron diferencias significativas entre algunas de ellas; ante lo cual no se pudo determinar la mejor variedad para la producción de maíz congelado en grano.
  - El no poder determinar una mejor variedad de maíz para el proceso; da la pauta para realizar un estudio más acabado al respecto, el cual deberá arrojar también, cual es el mejor indicador de calidad de la materia prima, entre la humedad o sólidos solubles.
  - Se elaboró un análisis de control para las operaciones de escaldo, hidrogenfriado y congelado. Se les aplico las cartas de control X – barra y S – barra, en los cuales demuestra que en las tres unidades del proceso se opera bajo control estadístico.
  - Para las operaciones de escaldado, hidrogenfriado y congelado, al estar operando bajo control estadístico, se les sometió a un análisis de capacidad de proceso, dando como resultado para los Indicadores de capacidad todos valores inferiores a 1,33.

## 6 RESUMEN

El propósito de este trabajo es contribuir al desarrollo de herramientas para el Sistema Integrado de Gestión en la Industria de Alimentos, con el planteamiento de que la calidad no debe de alcanzarse mediante la detección de los errores cometidos y su posterior corrección, sino aplicando una política de prevención para que los fallos no se produzcan. Aplicando este criterio, se evaluó un proceso real de una Agroindustria de la zona centro del país, tomándose datos de la línea de producción de maíz congelado en grano.

Evaluar un proceso planificado, aceptado y en funcionamiento permite generar con mayor facilidad el diagrama de flujo del proceso, el cual describe en forma sistémica la línea de producción.

Se elaboró el diagrama de proceso, con cada una de sus unidades operacionales, en base al muestreo y la identificación de las corrientes de entrada y salida. De acuerdo a la secuencia del proceso, se elaboró el balance de materia; en base a los resultados obtenidos se identificó y dimensionó la pérdida significativa de sólidos solubles, mermas, rendimiento de la materia prima, diferencias entre las variedades de maíz que entran al proceso y los parámetros operacionales de los principales equipos de la línea como son el escaldador, hidrocooler y congelador IQF.

## SUMMARY

The purpose of this research is to contribute to the development of tools for the integrated Management System in the Food Industry, with the approach that the quality not be achieved through errors detection and their subsequent correction, but applying a preventive politics to the fails do not occur. Using this criteria, is rated a real process in a Food Industry of the center zone of the country, taking data of the production lines of frozen grain corn.

Evaluate a planned process, accepted and operating permit generate easily the flow diagram process, that describe in a systemic form the process line.

Is graphed the diagram of the process whit every one of its operational units through of sampling and the identification of the input and output currents. In basing to the sequence of process its made the material balance. With the results obtained is identified and dimensioned the significant loss of soluble solids, shortages, differences between the corn variety wich fall to the process and the operational parameters of the principals equipments of the line such as the blanching machine, hidrocooler and the IQF freezer.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY (A.O.A.C.) 1995. Official methods of analysis of Association of Official Analytical Chemistry. Washington D.C.. 1141 p.
- BARBOSA, CÁNOVAS, ALTUNAKAR, MEJÍAS, LORÍO. 2005. Freezing of fruits and vegetables. An agribusiness alternative for rural and semi – rural areas. FAO, Agricultural services bulletin.
- CENTRO DE PROMOCIÓN DE TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES, GPTS. 2005. Guía Técnica General de Producción Más Limpia. Primera Edición. La Paz - Bolivia. 42 – 71p.
- CHASE. AQUILENO y JACOBS. 2001. Administración de producción y operaciones. McGrawHill. 235 – 286 p.
- FELDER. R. ROUSSEAU. R. 1991. Principios elementales de los procesos químicos. Segunda edición. North Carolina. Addison – Wesley Iberoamericana. 729p.
- FRIGOSCANDIA CONTRACTING. 1973. IQF Floofreeze M and MM – Models.
- GEANKOPLIS. G. J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 1998. Tercera Edición. México. Editorial CECSA. 1024 p.
- GRUDA. Z y POSTOLSKI. J. 1993. Tecnología de la Congelación de los Alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza. 631 p.

- GÓMEZ, A. 2000. Almacenamiento de alimentos congelados, Efecto de las oscilaciones de temperatura en la calidad. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Química. Argentina. 222 p.
- INSTITUTO INTERNACIONAL DEL FRIO. 1990. Alimentos Congelados. Procesado y distribución. Editorial Acribia. Zaragoza.183p.
- LICKER, M.D. 2003. Dictionary of Engineering. Second Edition, McGraw – Hill. 1830p.
- MALLET, C.P. 1993. Frozen Food Technology. Primera Edición. Editorial Blackie Academic & Professional. London England. 339p.
- McCABE, SMITH, HARRIOTT. 1991. Ingeniería química. Cuarta edición. McGraw – Hill. 1121p.
- PERRY, R.H., (1979), “Manual de Ingeniería Química” Tomo 1, Editorial Mc Graw-Hill, México.
- POTTER, N. (1978), “La Ciencia de los Alimentos”, Editorial Harla, México.
- RICHARDS, J.W. 1970. Interpretation of Technical Data. Iliffe Books LTD. London. 193 p.
- SANGUESA. M, DUEÑAS, R. IZQUIERDO, L. 2006. Teoría y Practica de la Calidad. Thomson Learning Ibero. 275 p.
- SHARMA, MULVANEY, RIZWL. 2003. Ingeniería en alimentos, operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. Limusa wiley. Nueva Cork. 358p.
- SINGH, R. P. Y HELDMAN, D.R. 1984. Introduction to Food Engineering. Academic Press. San Diego, CA, USA. 305 p.



SIRIDONOV, V.P y LOPATKIN, A.A. 1983. Tratamiento matemático de datos Físico – Químicos. Editorial Mir Moscú. 53 – 96 p.

ULRICH. G. 1986. Diseño y Economía de los Procesos de Ingeniería Química. Nueva Editorial Interamericana. México. 29 -66 p.

VALENTAS. J, ROTSTEIN. E, PAUL SING. R. 1997. Handbook of Food Engineering Practice. New York.

URL: <http://www.gestiopolis1.com/recursos7/Docs/ger/analisis-de-medidas-de-calculo-para-un-proceso-estable.pdf> (consultado 20/12/2007)

## **ANEXOS**

**ANEXO 2 Balance de masa de la línea de producción del maíz congelado en grano; determinación de las corrientes estimadas y calculo de propagación del error con corriente.**

➤ **Componentes de la Corriente 1**

**Datos:**

Flujo de alimentación ( $\dot{m}_1$ ):	10123 ± 1304 kg/h
Porcentaje grano de la mazorca:	43.3 ± 4.9 %
Materia vegetal :	25.7 ± 3.8 %
Resto vegetal (planta):	4.3 ± 1.9 %
Olote (coronta):	26.6 ± 4.9 %
Sólidos solubles:	26.8 ± 5.4 %
Agua:	71.0 ± 2.8 %

**Determinación de los componentes de la Corriente 1, con sus respectivas propagaciones del error.**

- **Masa granos de la mazorca:**  $\dot{m}_{grano} = \dot{m}_1 \times X_{grano}$

Fracción másica de los granos de la mazorca ( $X_{grano}$ ): 0.433 ± 0.049

$$\dot{m}_{grano} = \dot{m}_1 \times X_{grano}$$

$$\dot{m}_{grano} = 10123 \times 0.433$$

$$\dot{m}_{grano} = 4383 \text{ kg/h}$$

### Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{grano} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{grano}}{\partial \dot{m}_1} \sigma_{m_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{grano}}{\partial X_{grano}} \sigma_{X_{grano}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{grano} = \sqrt{(0,433)^2 \times (1304)^2 + (10123)^2 \times (0,049)^2} = 751$$

$$\dot{m}_{grano} = 4383 \pm 751 \text{ kg/h}$$

- **Materia vegetal de la mazorca:** 
$$\dot{m}_{materia\ vegetal} = \dot{m}_1 \times X_{materia\ vegetal}$$

Fracción másica, materia vegetal de la mazorca ( $X_{materia\ vegetal}$ ) =  $0.257 \pm 0.038$

$$\dot{m}_{materia\ vegetal} = \dot{m}_1 \times X_{materia\ vegetal}$$

$$\dot{m}_{materia\ vegetal} = 10123 \times 0.257$$

$$\dot{m}_{materia\ vegetal} = 2602 \text{ kg/h}$$

### Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{materia\ vegetal} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{materia\ vegetal}}{\partial \dot{m}_1} \sigma_{m_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{materia\ vegetal}}{\partial X_{materia\ vegetal}} \sigma_{X_{materia\ vegetal}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{materia\ vegetal} = \sqrt{(0,257)^2 \times (1304)^2 + (10123)^2 \times (0,038)^2} = 510$$

$$\dot{m}_{materia\ vegetal} = 2602 \pm 510 \text{ kg/h}$$

- **Resto vegetal (planta, hojas):**

$$\dot{m}_{\text{resto vegetal}} = \dot{m}_1 \times X_{\text{resto vegetal}}$$

Fracción másica de resto vegetal de la planta ( $X_{\text{resto vegetal}}$ ) =  $0.043 \pm 0.019$

$$\dot{m}_{\text{resto vegetal}} = \dot{m}_1 \times X_{\text{resto vegetal}}$$

$$\dot{m}_{\text{resto vegetal}} = 10123 \times 0.043$$

$$\dot{m}_{\text{resto vegetal}} = 435 \text{ kg/h}$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{materia vegetal}} = \sqrt{(0,043)^2 \times (1304)^2 + (10123)^2 \times (0,019)^2} = 200$$

$$\dot{m}_{\text{materia vegetal}} = 435 \pm 200 \text{ kg/h}$$

- **Olote (coronta):**

$$\dot{m}_{\text{olote}} = \dot{m}_1 \times X_{\text{olote}}$$

Fracción másica de resto vegetal de la planta ( $X_{\text{olote}}$ ) =  $0.266 \pm 0.049$

$$\dot{m}_{\text{olote}} = \dot{m}_1 \times X_{\text{olote}}$$

$$\dot{m}_{\text{olote}} = 10123 \times 0.266$$

$$\dot{m}_{\text{olote}} = 2693 \text{ kg/h}$$

### Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{olote}} = \sqrt{(0,266)^2 \times (1304)^2 + (10123)^2 \times (0,049)^2} = 605$$

$$\dot{m}_{\text{olote}} = 2693 \pm 605 \text{ kg/h}$$

- **Sólidos solubles (granos):**

$$\dot{m}_{\text{sólidos solubles}} = \dot{m}_{\text{grano}} \times X_{\text{sólidos solubles}}$$

Fracción másica de Sólidos solubles ( $X_{\text{sólidos solubles}}$ ) =  $0.268 \pm 0.054$

$$\dot{m}_{\text{sólidos solubles}} = \dot{m}_{\text{grano}} \times X_{\text{sólidos solubles}}$$

$$\dot{m}_{\text{sólidos solubles}} = 4383 \times 0.268$$

$$\dot{m}_{\text{sólidos solubles}} = 1175 \text{ kg/h}$$

### Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{sólidos solubles}} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{sólidos solubles}}}{\partial \dot{m}_{\text{grano}}} \sigma \dot{m}_{\text{grano}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{sólidos solubles}}}{\partial X_{\text{sólidos solubles}}} \sigma X_{\text{sólidos solubles}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{sólidos solubles}} = \sqrt{(0,268)^2 \times (751)^2 + (4393)^2 \times (0,054)^2} = 311$$

$$\dot{m}_{\text{sólidos solubles}} = 1175 \pm 311 \text{ kg/h}$$

- **Contenido de Agua:**

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \dot{m}_{\text{grano}} \times X_{\text{agua}}$$

Fracción másica de resto vegetal de la planta ( $X_{\text{agua}}$ ) =  $0.71 \pm 0.028$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \dot{m}_{\text{grano}} \times X_{\text{agua}}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 4383 \times 0.71$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 3112 \text{ kg/h}$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{agua}}}{\partial \dot{m}_{\text{grano}}} \sigma \dot{m}_{\text{grano}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{agua}}}{\partial X_{\text{agua}}} \sigma X_{\text{agua}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = \sqrt{(0,71)^2 \times (751)^2 + (4383)^2 \times (0,028)^2} = 546$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 3112 \pm 546 \text{ kg/h}$$

- **Sólidos Insolubles de los granos:**

Estimado por diferencia, en base a los valores de la masa de grano, sólidos solubles y agua.

Fracción másica de resto vegetal de la planta

$$X_{\text{sólidos insolubles}} = 1 - (X_{\text{agua}} + X_{\text{sólidos solubles}})$$

$$X_{\text{sólidos insolubles}} = 1 - (0.71 + 0.268)$$

$$X_{\text{sólidos insolubles}} = 0.022$$

### Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = \sqrt{\left( \frac{\partial X_{\text{sólidos solubles}}}{\partial X_{\text{agua}}} \sigma X_{\text{agua}} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_{\text{sólidos solubles}}}{\partial X_{\text{sólidos solubles}}} \sigma X_{\text{sólidos solubles}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = \sqrt{(-1)^2 \times (0.028)^2 + (1)^2 \times (0.054)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = 0.061$$

$$X_{\text{sólidos insolubles}} = 0.022 \pm 0.061$$

### Flujo másico para los Sólidos Insolubles

$$\dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = \dot{m}_{\text{grano}} \times X_{\text{sólidos insolubles}}$$

$$\dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = 4383 \times 0.022$$

$$\dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = 96 \text{ kg/h}$$

### Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{sólido sin solubles}}}{\partial \dot{m}_{\text{grano}}} \sigma \dot{m}_{\text{grano}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{sólido sin solubles}}}{\partial X_{\text{sólidos insolubles}}} \sigma X_{\text{sólidos insolubles}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = \sqrt{(0,022)^2 \times (751)^2 + (4383)^2 \times (0,061)^2} =$$

$$\dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = 97 \pm 268 \text{ kg/h}$$



➤ **Componentes de la Corriente 9**

**Datos:**

Materia vegetal :	2602 ± 510
Resto vegetal (planta):	435 ± 200

**Determinación de los componentes de la Corriente 9, con sus respectivas propagaciones del error.**

- **Masa de la Corriente 9:**  $\dot{m}_9 = \dot{m}_{\text{materia vegetal}} + \dot{m}_{\text{resto vegetal}}$

$$\dot{m}_9 = 2602 + 435 = 3037$$

$$\dot{m}_9 = 3037$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_9 = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_9}{\partial \dot{m}_{\text{materia vegetal}}} \sigma_{\text{materia vegetal}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_9}{\partial \dot{m}_{\text{resto vegetal}}} \sigma_{\text{resto vegetal}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_9 = \sqrt{(510)^2 + (200)^2} = 548$$

$$\dot{m}_9 = 3037 \pm 548$$

Fracción másica de la Materia vegetal:

$$X_{\text{materia vegetal}} = \frac{\dot{m}_{\text{materia vegetal}}}{\dot{m}_9}$$

$$X_{\text{materia vegetal}} = \frac{2602}{3037} = 0.857$$

Estimación del error

$$X_{\text{materia vegetal}} = \frac{\dot{m}_{\text{materia vegetal}}}{\dot{m}_9}$$

$$\sigma X_{\text{materia vegetal}} = \sqrt{\left( \frac{\partial(X_{\text{materia vegetal}})}{\partial \dot{m}_{\text{materia vegetal}}} \sigma_{\dot{m}_{\text{materia vegetal}}} \right)^2 + \left( \frac{\partial(X_{\text{materia vegetal}})}{\partial \dot{m}_9} \sigma_{\dot{m}_9} \right)^2}$$

$$\sigma X_{\text{materia vegetal}} = \sqrt{\left( \frac{(510)^2}{(3037)^2} \right) + \left( \frac{2602}{(3037)^2} \right)^2 \times (548)^2} = 0.228$$

$$X_{\text{materia vegetal}} = 0.857 \pm 0.228$$

Fracción másica del resto vegetal:

$$X_{\text{resto vegetal}} = \frac{\dot{m}_{\text{resto vegetal}}}{\dot{m}_9}$$

$$X_{\text{resto vegetal}} = \frac{435}{3037} = 0.143$$

### Estimación del error

$$\sigma X_{\text{resto vegetal}} = \sqrt{\left( \frac{\partial(X_{\text{resto vegetal}})}{\partial \dot{m}_{\text{resto vegetal}}} \sigma_{\dot{m}_{\text{resto vegetal}}} \right)^2 + \left( \frac{\partial(X_{\text{resto vegetal}})}{\partial X_{m_9}} \sigma_{X_{m_9}} \right)^2}$$

$$\sigma X_{\text{resto vegetal}} = \sqrt{\left( \frac{(200)^2}{(3037)^2} \right) + \left( \frac{435}{(3037)^2} \right)^2} \times (548)^2 = 0.071$$

$$X_{\text{resto vegetal}} = 0.143 \pm 0.071$$

### ➤ Componentes de la Corriente 2

**Determinación de los componentes de la Corriente 2, con sus respectivas propagaciones del error.**

- **Masa de la Corriente 2:**

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_{\text{granos}} + \dot{m}_{\text{olotes}}$$

$$\dot{m}_2 = 4383 + 2693 = 7076$$

### Estimación del error

$$\sigma = \sqrt{(751)^2 + (605)^2} = 964$$

$$\dot{m}_2 = 7076 \pm 964$$

Fracción másica del contenido de granos

$$X_{\text{granos}} = \frac{\dot{m}_{\text{granos}}}{\dot{m}_2}$$

$$X_{\text{granos}} = \frac{4383}{7076} = 0.619$$

Estimación del error

$$\sigma X_{\text{granos}} = \sqrt{\left( \frac{\partial(X_{\text{granos}})}{\partial \dot{m}_{\text{granos}}} \sigma_{\dot{m}_{\text{granos}}} \right)^2 + \left( \frac{\partial(X_{\text{granos}})}{\partial \dot{m}_2} \sigma_{\dot{m}_2} \right)^2}$$

$$\sigma X_{\text{granos}} = \sqrt{\left( \frac{(751)^2}{(7076)^2} \right) + \left( \frac{(4383)^2}{(7076)^2} \right)} \times (964)^2 = 0.1356$$

$$X_{\text{granos}} = 0.619 \pm 0.1356$$

Fracción másica del contenido de Olotes

$$X_{\text{olotes}} = \frac{\dot{m}_{\text{olotes}}}{\dot{m}_2}$$

$$X_{\text{olotes}} = \frac{2693}{7086} = 0.3801$$

### Estimación del error

$$\sigma X_{\text{olotes}} = \sqrt{\left( \frac{\partial(X_{\text{olotes}})}{\partial \dot{m}_{\text{olotes}}} \sigma_{m_{\text{olotes}}} \right)^2 + \left( \frac{\partial(X_{\text{olotes}})}{\partial X_{m_2}} \sigma_{X_{m_2}} \right)^2}$$

$$\sigma X_{\text{olotes}} = \sqrt{\left( \frac{(605)^2}{(7076)^2} \right) + \left( \frac{(2693)^2}{(7076)^2} \right)} \times (964)^2 = 0.0999$$

$$X_{\text{olotes}} = 0.3801 \pm 0.0999$$

Los componentes de los granos como sólidos solubles e insolubles y contenido de agua se mantienen constantes; siendo la misma masa y fracción másica de los granos.

### ➤ **Componentes de la Corriente 10**

#### **Datos, porcentaje de defectos**

Bajo calibre < 10.5 cm	1.7 ± 2.3%
Daño insectos	0.9 ± 0.73%
Deshidratado	2.45 ± 2.45 %
Hongo	0.37 ± 0.55%
Carbón	0.45 ± 1.05%
Inmadurez	0.33 ± 0.62%
Mala Polinización	1.63 ± 1.27 %
Total	7.83 ± 3.9 %

**Determinación de los componentes de la Corriente 9, con sus respectivas propagaciones del error.**

- **Fracción de defectos:**

$$X_{defectos} = X_{bajocalibr} + X_{insectos} + X_{deshidratado} + X_{hongos} + X_{carbón} + X_{inmadurez} + X_{malpolinización}$$

$$X_{defectos} = 7.83\%$$

Estimación del error

$$\sigma_{X_{defectos}} = \sqrt{\left(\frac{\partial X_{defectos}}{\partial X_{bajocalibr}} \sigma_{bajocalibr}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{defectos}}{\partial X_{insectos}} \sigma_{insectos}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{defectos}}{\partial X_{hongos}} \sigma_{hongos}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{defectos}}{\partial X_{deshidratado}} \sigma_{deshidratado}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{defectos}}{\partial X_{carbón}} \sigma_{carbón}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{defectos}}{\partial X_{inmadurez}} \sigma_{inmadurez}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{defectos}}{\partial X_{malpolinización}} \sigma_{malpolinización}\right)^2}$$

$$\sigma_{X_{defectos}} = \sqrt{(2.3)^2 + (0.73)^2 + (2.45)^2 + (0.55)^2 + (1.05)^2 + (0.62)^2 + (1.27)^2}$$

$$\sigma_{X_{defectos}} = 0.0004$$

$$X_{defectos} = 0.0783 \pm 0.0004$$

- **Masa de la Corriente 10:**

$$\dot{m}_{10} = \dot{m}_2 \times X_{defectos}$$

$$\dot{m}_{10} = 7076 \times 0.0783 = 554$$

$$\dot{m}_{10} = 554 \text{ kg/h}$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{10} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{10}}{\partial \dot{m}_2} \sigma_{m2} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{10}}{\partial X_{defectos}} \sigma_{defectos} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{10} = \sqrt{(0.0783)^2 \times (964)^2 + (7076)^2 \times (0.0004)^2} = 75$$

$$\dot{m}_{10} = 554 \pm 75$$

- **Fracción mássica Corriente 10**  $X_{10} = X_{grano} + X_{olote}$

$$X_{10} = 0.6199 + 0.3801$$

$$X_{10} = 1$$

Estimación del error

$$\sigma X_{10} = \sqrt{\left( \frac{\partial X_{10}}{\partial X_{grano}} \sigma_{X_{grano}} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_{10}}{\partial X_{olote}} \sigma_{X_{olote}} \right)^2}$$

$$\sigma X_{10} = \sqrt{(0.1356)^2 + (0.1457)^2} = 0.199$$

$$X_{10} = 1 \pm 0.199$$

- **Flujo mássico del grano**  $\dot{m}_{grano} = \dot{m}_{10} \times X_{grano}$

$$\dot{m}_{\text{grano}} = 554 \times 0.6199 = 343$$

$$\dot{m}_{\text{grano}} = 343 \text{ kg/h}$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{grano}} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{grano}}}{\partial \dot{m}_{10}} \sigma_{m10} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{grano}}}{\partial X_{\text{grano}}} \sigma_{\text{grano}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{grano}} = \sqrt{(0.6199)^2 \times (75)^2 + (554)^2 \times (0.1356)^2} = 88$$

$$\dot{m}_{\text{grano}} = 343 \pm 88$$

- **Flujo másico de Olate**

$$\dot{m}_{\text{olote}} = \dot{m}_{10} \times X_{\text{olote}}$$

$$\dot{m}_{\text{olote}} = 554 \times 0.3801 = 211$$

$$\dot{m}_{\text{olote}} = 211 \text{ kg/h}$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{olote}} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{olote}}}{\partial \dot{m}_{10}} \sigma_{m10} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{olote}}}{\partial X_{\text{grano}}} \sigma_{\text{grano}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{olote}} = \sqrt{(0.3801)^2 \times (75)^2 + (554)^2 \times (0.1457)^2} = 86$$



$$\dot{m}_{grano} = 211 \pm 86$$

➤ **Componentes de la Corriente 3**

**Determinación de los componentes de la Corriente 3, con sus respectivas propagaciones del error.**

- **Flujo másico grano:** 
$$\dot{m}_{grano} = \dot{m}_{2grano} - \dot{m}_{10grano}$$

$$\dot{m}_{grano} = 4383 - 343$$

$$\dot{m}_{grano} = 4040$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{grano} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{grano}}{\partial \dot{m}_{2grano}} \sigma_{m_{2grano}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{grano}}{\partial \dot{m}_{10grano}} \sigma_{m_{10grano}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_8 = \sqrt{(751)^2 + (88)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_8 = 756$$

$$\dot{m}_{grano} = 4040 \pm 756 \text{ kg / h}$$

- **Flujo másico de Oloite:** 
$$\dot{m}_{olote} = \dot{m}_{2olote} - \dot{m}_{10olote}$$

$$\dot{m}_{olote} = 2693 - 211$$

$$\dot{m}_{olote} = 2482$$

Estimación del error

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$$

$$\sigma \dot{m}_{olote} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{olote}}{\partial \dot{m}_{2olote}} \sigma_{m2olote}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{olote}}{\partial \dot{m}_{10olote}} \sigma_{m10olote}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{olote} = \sqrt{(605)^2 + (86)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{olote} = 611$$

$$\dot{m}_{olote} = 2482 \pm 611 \text{ kg/h}$$

- Flujo másico de la Corriente 3:  $\dot{m}_3 = \dot{m}_2 - \dot{m}_{10}$

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_{grano} + \dot{m}_{olote}$$

$$\dot{m}_3 = 4040 + 2482$$

$$\dot{m}_3 = 6522$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_3 = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_3}{\partial \dot{m}_2} \sigma_{m2}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_3}{\partial \dot{m}_{10}} \sigma_{m10}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_3 = \sqrt{(756)^2 + (611)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_3 = 972$$

$$\dot{m}_{olote} = 6522 \pm 972 \text{ kg/h}$$

➤ **Componentes de la Corriente 4**

**Determinación de los componentes de la Corriente 11, con sus respectivas propagaciones del error.**

**Datos:**

Sólidos solubles °brix	0.187 ± 0.054
Flujo de granos separados del olote	3539 ± 863
Sólidos insolubles	0.0255 ± 0.022

La fracción de sólidos insolubles se considera constante en el proceso

- **Flujo másico grano:** 
$$\dot{m}_4 = \dot{m}_{\text{sólidos solubles}} + \dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} + \dot{m}_{\text{agua}}$$

- **Flujo másico de sólidos solubles:**

$$\dot{m}_{s.s} = \dot{m}_4 \times X_{s.s}$$

$$\dot{m}_{s.s} = 3539 \times 0.187$$

$$\dot{m}_{s.s} = 662$$

Estimación del error

$$\sigma_{\dot{m}_{s.s}} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{s.s}}{\partial \dot{m}_4} \sigma_{m4} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{s.s}}{\partial X_{s.s}} \sigma_{X_{s.s}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_8 = \sqrt{(0.187)^2 \times (863)^2 + (0.0004)^2 \times (3539)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{s,s} = 161$$

$$\dot{m}_{\text{sólidos solubles}} = 662 \pm 161 \text{ kg/h}$$

- **Flujo másico de sólidos insolubles:**

$$\dot{m}_{s,I} = \dot{m}_4 \times X_{s,I}$$

$$\dot{m}_{s,I} = 3539 \times 0.0255$$

$$\dot{m}_{s,I} = 89$$

Estimación del error 
$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$$

$$\sigma \dot{m}_{s,I} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{s,I}}{\partial \dot{m}_4} \sigma_{m4}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{s,I}}{\partial X_{s,I}} \sigma_{X_{s,I}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_8 = \sqrt{(0.0255)^2 \times (863)^2 + (0.0006)^2 \times (3539)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{s,s} = 22$$

$$\dot{m}_{\text{sólidos insolubles}} = 89 \pm 22 \text{ kg/h}$$

- **Fracción de agua:** 
$$X_{\text{agua}} = 1 - (X_{s,s} + X_{s,I})$$

$$X_{\text{agua}} = 1 - (X_{s,s} + X_{s,I})$$

$$X_{\text{agua}} = 1 - (0.187 + 0.0255)$$

$$X_{\text{agua}} = 0.7875$$

Estimación del error

$$\sigma X_{\text{agua}} = \sqrt{\left(\frac{\partial X_{\text{agua}}}{\partial X_{S.S}} \sigma X_{S.S}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{\text{agua}}}{\partial X_{S.I}} \sigma X_{S.I}\right)^2}$$

$$\sigma X_{\text{agua}} = \sqrt{(0.054)^2 + (0.022)^2}$$

$$\sigma X_{\text{agua}} = 0.0583$$

$$X_{\text{agua}} = 0.7875 \pm 0.0583$$

- Flujo másico de agua:  $\dot{m}_{\text{agua}} = \dot{m}_4 \times X_{\text{agua}}$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = \dot{m}_4 \times X_{\text{agua}}$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 3539 \times 0.7875$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 2788$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{\text{agua}}}{\partial \dot{m}_{S.S}} \sigma \dot{m}_{S.S}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{\text{agua}}}{\partial \dot{m}_{S.I}} \sigma \dot{m}_{S.I}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = \sqrt{(0.7875)^2 \times (863)^2 + (3539)^2 \times (0.0583)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = 710$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 2788 \pm 710$$

➤ **Componentes de la Corriente 11**

**Determinación de los componentes de la Corriente 11, con sus respectivas propagaciones del error. Los valores de esta corriente se determinan por diferencia entre las corrientes 3 y 4.**

En el corte de los granos de la mazorca, existe una pérdida de granos; los cuales se rompen o salen adheridos a las mazorcas además existe pérdida de los componentes del grano en forma de jugo de las mazorcas, el que conocido comúnmente como lechada.

- **Flujo másico corriente 11:** 
$$\dot{m}_{11} = \dot{m}_3 - \dot{m}_4$$

$$\dot{m}_{11} = 6522 - 3539$$

$$\dot{m}_{11} = 2983$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{11} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{11}}{\partial \dot{m}_3} \sigma \dot{m}_3 \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{11}}{\partial \dot{m}_4} \sigma \dot{m}_4 \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11} = \sqrt{(972)^2 + (863)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11} = 1299$$

$$\dot{m}_{11} = 2983 \pm 1299$$

- Flujo másico grano:  $\dot{m}_{11\text{grano}} = \dot{m}_{3\text{grano}} - \dot{m}_{4\text{grano}}$

$$\dot{m}_{11\text{grano}} = 4040 - 3539$$

$$\dot{m}_{11} = 501$$

Estimación del error  $\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$

$$\sigma \dot{m}_{11\text{grano}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{11\text{grano}}}{\partial \dot{m}_{3\text{grano}}} \sigma_{\dot{m}_{3\text{grano}}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{11\text{grano}}}{\partial \dot{m}_{4\text{grano}}} \sigma_{\dot{m}_{4\text{grano}}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11} = \sqrt{(863)^2 + (756)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11} = 1147$$

$$\dot{m}_{11} = 501 \pm 1147$$

- Flujo sólidos solubles de los granos:  $\dot{m}_{11S.S} = \dot{m}_{3S.S} - \dot{m}_{4S.S}$

$$\dot{m}_{11S.S} = 1082 - 662$$

$$\dot{m}_{11} = 420$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{11S.S} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{11S.S}}{\partial \dot{m}_{3S.S}} \sigma \dot{m}_{3S.S} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{11S.S}}{\partial \dot{m}_{4S.S}} \sigma \dot{m}_{4S.S} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11S.S} = \sqrt{(203)^2 + (161)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11S.S} = 259$$

$$\dot{m}_{11} = 420 \pm 259$$

- Flujo agua de los granos:  $\dot{m}_{11agua} = \dot{m}_{3agua} - \dot{m}_{4agua}$

$$\dot{m}_{11agua} = 2868 - 2788$$

$$\dot{m}_{11agua} = 80$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{11agua} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{11agua}}{\partial \dot{m}_{3agua}} \sigma \dot{m}_{3agua} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{11agua}}{\partial \dot{m}_{4agua}} \sigma \dot{m}_{4agua} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11agua} = \sqrt{(537)^2 + (710)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11agua} = 890$$

$$\dot{m}_{11agua} = 87 \pm 890$$



- Flujo de olores:  $\dot{m}_{11olotes} = 2482 \pm 611$

➤ **Componentes de la Corriente 5**

- Flujo másico corriente 5:  $\dot{m}_5 = 3329 \pm 863$

- Fracción másica sólidos solubles:  $X_{S.S} = 0.1614 \pm 0.0002$

- Flujo másico sólidos insolubles:  $\dot{m}_{S.I} = 89 \pm 22$

- Flujo másico sólidos solubles:  $\dot{m}_{S.S} = \dot{m}_5 \times X_{S.S}$

$$\dot{m}_{S.S} = 3329 \times 0.1614$$

$$\dot{m}_{S.S} = 537$$

Estimación del error  $\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$

$$\sigma \dot{m}_{S.S} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{S.S}}{\partial \dot{m}_5} \sigma_{\dot{m}_5}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{S.S}}{\partial X_{S.S}} \sigma_{X_{S.S}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11agua} = \sqrt{(0.1614)^2 \times (863)^2 + (3329)^2 \times (0.0002)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{11agua} = 139$$

$$\dot{m}_{11agua} = 537 \pm 139$$

- **Fracción másica de sólidos insolubles:**  $X_{s.I} = \frac{\dot{m}_{s.I}}{\dot{m}_5}$

$$X_{s.I} = \frac{89}{3329}$$

$$X_{s.I} = 0.027$$

Estimación del error  $\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$

$$\sigma \dot{m}_{5S.S} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{5S.S}}{\partial \dot{m}_5} \sigma_{\dot{m}_5}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{5S.S}}{\partial X_{s.S}} \sigma_{X_{s.S}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{5S.S} = \sqrt{\left(\frac{139^2}{3329^2}\right) + \left(\left(\frac{537}{3329^2}\right) \times (863)^2\right)}$$

$$\sigma \dot{m}_{5S.S} = 0.0591$$

$$\dot{m}_{5S.S} = 0.027 \pm 0.0591$$

- **Flujo másico agua de los granos:**  $\dot{m}_{agua} = \dot{m}_5 - (\dot{m}_{s.S} + \dot{m}_{s.I})$

$$\dot{m}_{agua} = 3329 - (537 + 89)$$

$$\dot{m}_{agua} = 2703$$

Estimación del error

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{\text{agua}}}{\partial \dot{m}_5} \sigma_{\dot{m}_5}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{\text{agua}}}{\partial \dot{m}_{S.S}} \sigma_{\dot{m}_{S.S}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{\text{agua}}}{\partial \dot{m}_{S.I}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = \sqrt{(863)^2 + (139)^2 + (22)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = 874$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 2703 \pm 874$$

- Fracción másica agua:

$$X_{\text{agua}} = \frac{\dot{m}_{\text{agua}}}{\dot{m}_5}$$

$$X_{\text{agua}} = \frac{2703}{3329}$$

$$X_{\text{agua}} = 0.812$$

Estimación del error

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$$

$$\sigma X_{\text{5agua}} = \sqrt{\left(\frac{\partial X_{\text{5agua}}}{\partial \dot{m}_5} \sigma_{\dot{m}_5}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{\text{5agua}}}{\partial X_{\text{agua}}} \sigma X_{\text{agua}}\right)^2}$$

$$\sigma X_{\text{5agua}} = \sqrt{\left(\frac{1127^2}{3329^2}\right) + \left(\left(\frac{2703}{3329^2}\right)^2 \times (863)^2\right)}$$

$$\sigma X_{\text{5agua}} = 0.3986$$

$$X_{\text{agua}} = 0.8129 \pm 0.3986$$

➤ **Componentes de la Corriente 13**

Valores determinados por diferencia entre las corrientes 4 y 5.

- **Flujo másico corriente 13:**  $\dot{m}_{13} = \dot{m}_4 - \dot{m}_5$

$$\dot{m}_{13} = 3539 - 3329$$

$$\dot{m}_{13} = 210$$

Estimación del error  $\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$

$$\sigma \dot{m}_{13} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{13}}{\partial \dot{m}_4} \sigma_{\dot{m}_4}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{13}}{\partial \dot{m}_5} \sigma_{\dot{m}_5}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{13} = \sqrt{(863)^2 + (863)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{13} = 1220$$

$$\dot{m}_{S.S} = 210 \pm 1220$$

- **Flujo másico sólidos solubles:**  $\dot{m}_{S.S} = \dot{m}_{4S.S} - \dot{m}_{5S.S}$

$$\dot{m}_{S.S} = 662 - 537$$

$$\dot{m}_{S.S} = 125$$

Estimación del error  $\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$

$$\sigma \dot{m}_{S.S} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{S.S}}{\partial \dot{m}_4} \sigma_{m_4} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{S.S}}{\partial \dot{m}_5} \sigma_{m_5} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{S.S} = \sqrt{(161)^2 + (139)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{S.S} = 213$$

$$\dot{m}_{S.S} = 125 \pm 213$$

- **Flujo másico agua:**  $\dot{m}_{agua} = \dot{m}_{4agua} - \dot{m}_{5agua}$

$$\dot{m}_{agua} = 2788 - 2703$$

$$\dot{m}_{agua} = 85$$

Estimación del error  $\sigma = \sqrt{\left( \frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z \right)^2 + \dots}$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_4} \sigma_{m_4} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_5} \sigma_{m_5} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = \sqrt{(680)^2 + (1127)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = 1316$$

$$\dot{m}_{agua} = 85 \pm 1316$$

➤ **Componentes de la Corriente 6**

- **Flujo másico corriente 6:**  $\dot{m}_6 = 3676 \pm 914$

- **Fracción mássica sólidos solubles:**  $X_{S.S} = 0.1257 \pm 0.0002$

- **Flujo mássico sólidos insolubles:**  $\dot{m}_{S.I} = 89 \pm 22$

- **Flujo mássico sólidos solubles:**  $\dot{m}_{S.S} = \dot{m}_6 \times X_{S.S}$

$$\dot{m}_{S.S} = 3676 \times 0.1257$$

$$\dot{m}_{S.S} = 462$$

Estimación del error  $\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$

$$\sigma \dot{m}_{6S.S} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{6S.S}}{\partial \dot{m}_6} \sigma_{\dot{m}_6}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{6S.S}}{\partial X_{S.S}} \sigma_{X_{S.S}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{6S.S} = \sqrt{(0.1257)^2 \times (914)^2 + (3676)^2 \times (0.0002)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{6S.S} = 114$$

$$\dot{m}_{6S.S} = 462 \pm 114$$

- **Fracción mássica de sólidos insolubles:**  $X_{S.I} = \frac{\dot{m}_{S.I}}{\dot{m}_6}$

$$X_{S.I} = \frac{89}{3676}$$

$$X_{S.I} = 0.0242$$

Estimación del error

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$$

$$\sigma X_{6S.I} = \sqrt{\left(\frac{\partial X_{6S.I}}{\partial \dot{m}_6} \sigma_{\dot{m}_6}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{6S.I}}{\partial \dot{m}_{S.I}} \sigma_{\dot{m}_{S.I}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{6S.I} = \sqrt{\left(\frac{22^2}{3676^2}\right) + \left(\frac{89}{3676^2} \times (914)^2\right)}$$

$$\sigma \dot{m}_{6S.I} = 0.0085$$

$$\dot{m}_{6S.S} = 0.0242 \pm 0.0085$$

- **Flujo másico agua de los granos:**

$$\dot{m}_{agua} = \dot{m}_6 - (\dot{m}_{S.S} + \dot{m}_{S.I})$$

$$\dot{m}_{agua} = 3676 - (462 + 89)$$

$$\dot{m}_{agua} = 3125$$

Estimación del error

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_6} \sigma_{\dot{m}_6}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_{S.S}} \sigma_{\dot{m}_{S.S}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_{S.I}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = \sqrt{(914)^2 + (114)^2 + (22)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = 921$$

$$\dot{m}_{agua} = 3125 \pm 921$$

- **Fracción másica agua:**  $X_{agua} = \frac{\dot{m}_{agua}}{\dot{m}_6}$

$$X_{agua} = \frac{3125}{3676}$$

$$X_{agua} = 0.8501$$

Estimación del error  $\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial w}{\partial x} \sigma_x\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial y} \sigma_y\right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \sigma_z\right)^2 + \dots}$

$$\sigma X_{\dot{m}_{agua}} = \sqrt{\left(\frac{\partial X_{\dot{m}_{agua}}}{\partial \dot{m}_6} \sigma_{\dot{m}_6}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{\dot{m}_{agua}}}{\partial X_{agua}} \sigma X_{agua}\right)^2}$$

$$\sigma X_{\dot{m}_{agua}} = \sqrt{\left(\frac{921^2}{3676^2}\right) + \left(\left(\frac{3125}{3676}\right)^2 \times (914)^2\right)}$$

$$\sigma X_{\dot{m}_{agua}} = 0.3259$$

$$X_{agua} = 0.8501 \pm 0.3259$$

➤ **Componentes de la Corriente 14:**  $\dot{m}_{14} = 75 \pm 178$

➤ **Componentes de la Corriente 7:**

- **Flujo másico corriente 7:**  $\dot{m}_7 = 3415 \pm 984$

- **Fracción másica sólidos solubles:**  $X_{s.s} = 0.094 \pm 0.0002$



- Flujo másico sólidos insolubles:  $\dot{m}_{s.I} = 89 \pm 22$

- Flujo másico sólidos solubles:  $\dot{m}_{s.S} = \dot{m}_7 \times X_{s.S}$

$$\dot{m}_{s.S} = 3415 \times 0.094$$

$$\dot{m}_{s.S} = 321$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{7s.S} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{7s.S}}{\partial \dot{m}_7} \sigma_{m_7} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{7s.S}}{\partial X_{s.S}} \sigma_{X_7} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{7s.S} = \sqrt{(0.094)^2 \times (984)^2 + (3415)^2 \times (0.0002)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{7s.S} = 93$$

$$\dot{m}_{7s.S} = 321 \pm 93$$

- Fracción másica de sólidos insolubles:  $X_{s.I} = \frac{\dot{m}_{s.I}}{\dot{m}_7}$

$$X_{s.I} = \frac{89}{3415}$$

$$X_{s.I} = 0.0261$$

Estimación del error

$$\sigma X_{7S.I} = \sqrt{\left(\frac{\partial X_{7S.I}}{\partial \dot{m}_6} \sigma_{\dot{m}_6}\right)^2 + \left(\frac{\partial X_{7S.I}}{\partial \dot{m}_{S.I}} \sigma_{\dot{m}_{S.I}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{7S.I} = \sqrt{\left(\frac{22^2}{3415^2}\right) + \left(\frac{89}{3415^2}\right)^2 \times (984)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{7S.I} = 0.0091$$

$$\dot{m}_{7S.S} = 0.0261 \pm 0.0091$$

- Flujo másico agua de los granos:  $\dot{m}_{agua} = \dot{m}_7 - (\dot{m}_{S.S} + \dot{m}_{S.I})$

$$\dot{m}_{agua} = 3415 - (321 + 89)$$

$$\dot{m}_{agua} = 3005$$

#### Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{agua} = \sqrt{\left(\frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_7} \sigma_{\dot{m}_7}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_{S.S}} \sigma_{\dot{m}_{S.S}}\right)^2 + \left(\frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_{S.I}}\right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = \sqrt{(984)^2 + (93)^2 + (22)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = 989$$

$$\dot{m}_{agua} = 3005 \pm 989$$

- Fracción másica agua:  $X_{agua} = \frac{\dot{m}_{agua}}{\dot{m}_7}$

$$X_{agua} = \frac{3005}{3415}$$

$$X_{agua} = 0.8799$$

### Estimación del error

$$\sigma X_{7agua} = \sqrt{\left( \frac{\partial X_{7agua}}{\partial \dot{m}_7} \sigma_{\dot{m}_7} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_{7agua}}{\partial X_{agua}} \sigma X_{agua} \right)^2}$$

$$\sigma X_{7agua} = \sqrt{\left( \frac{989^2}{3415^2} \right) + \left( \left( \frac{3005}{3415^2} \right)^2 \times (984)^2 \right)}$$

$$\sigma X_{7agua} = 0.3849$$

$$X_{agua} = 0.8799 \pm 0.3849$$

### ➤ **Componentes de la Corriente 15**

Valores determinados por diferencia entre las corrientes 6 y 7.

- **Flujo másico corriente 15:**  $\dot{m}_{15} = \dot{m}_6 - \dot{m}_7$

$$\dot{m}_{15} = 3676 - 3415$$

$$\dot{m}_{15} = 261$$

### Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{15} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{15}}{\partial \dot{m}_6} \sigma_{\dot{m}_6} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{15}}{\partial \dot{m}_7} \sigma_{\dot{m}_7} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{15} = \sqrt{(914)^2 + (984)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{15} = 1343$$

$$\dot{m}_{15} = 261 \pm 1343$$

- **Flujo másico sólidos solubles:**  $\dot{m}_{S.S} = \dot{m}_{6S.S} - \dot{m}_{7S.S}$

$$\dot{m}_{S.S} = 462 - 321$$

$$\dot{m}_{S.S} = 141$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{S.S} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{S.S}}{\partial \dot{m}_6} \sigma \dot{m}_6 \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{S.S}}{\partial \dot{m}_7} \sigma \dot{m}_7 \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{S.S} = \sqrt{(114)^2 + (93)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{S.S} = 147$$

$$\dot{m}_{S.S} = 141 \pm 147$$

- **Flujo másico agua:**  $\dot{m}_{agua} = \dot{m}_{6agua} - \dot{m}_{7agua}$

$$\dot{m}_{agua} = 3125 - 3005$$

$$\dot{m}_{agua} = 120$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{agua}}}{\partial \dot{m}_6} \sigma \dot{m}_6 \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{\text{agua}}}{\partial \dot{m}_7} \sigma \dot{m}_7 \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = \sqrt{(921)^2 + (989)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{\text{agua}} = 1351$$

$$\dot{m}_{\text{agua}} = 120 \pm 1351$$

➤ **Componentes de la Corriente 8:**

- Flujo másico corriente 8:  $\dot{m}_8 = 3371 \pm 939$

- Fracción másica sólidos solubles:  $X_{S.S} = 0.094 \pm 0.0002$

- Flujo másico sólidos insolubles:  $\dot{m}_{S.I} = 89 \pm 22$

- Flujo másico sólidos solubles:  $\dot{m}_{S.S} = \dot{m}_8 \times X_{S.S}$

$$\dot{m}_{S.S} = 3371 \times 0.094$$

$$\dot{m}_{S.S} = 317$$

Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{S.S} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{S.S}}{\partial \dot{m}_8} \sigma \dot{m}_8 \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{S.S}}{\partial X_{S.S}} \sigma X_{S.S} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{8S.S} = \sqrt{(0.094)^2 \times (939)^2 + (3371)^2 \times (0.0002)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{8S.S} = 88$$

$$\dot{m}_{7S.S} = 317 \pm 88$$

- Fracción mássica de sólidos insolubles:

$$X_{S.I} = \frac{\dot{m}_{S.I}}{\dot{m}_8}$$

$$X_{S.I} = \frac{89}{3371}$$

$$X_{S.I} = 0.0264$$

Estimación del error

$$\sigma X_{8S.I} = \sqrt{\left( \frac{\partial X_{8S.I}}{\partial \dot{m}_8} \sigma \dot{m}_8 \right)^2 + \left( \frac{\partial X_{8S.I}}{\partial \dot{m}_{S.I}} \sigma \dot{m}_{S.I} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{8S.I} = \sqrt{\left( \frac{22^2}{3371^2} \right) + \left( \left( \frac{89}{3371^2} \right)^2 \times (939)^2 \right)}$$

$$\sigma \dot{m}_{8S.I} = 0.0098$$

$$\dot{m}_{8S.I} = 0.0264 \pm 0.0098$$

- Flujo mássico agua de los granos:

$$\dot{m}_{agua} = \dot{m}_8 - (\dot{m}_{S.S} + \dot{m}_{S.I})$$

$$\dot{m}_{agua} = 3371 - (317 + 89)$$

$$\dot{m}_{agua} = 2911$$

### Estimación del error

$$\sigma \dot{m}_{agua} = \sqrt{\left( \frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_7} \sigma_{m_7} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_{S.S}} \sigma_{m_{S.S}} \right)^2 + \left( \frac{\partial \dot{m}_{agua}}{\partial \dot{m}_{S.I}} \right)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = \sqrt{(939)^2 + (88)^2 + (22)^2}$$

$$\sigma \dot{m}_{agua} = 943$$

$$\dot{m}_{agua} = 2911 \pm 943$$

- **Fracción másica agua:**  $X_{agua} = \frac{\dot{m}_{agua}}{\dot{m}_8}$

$$X_{agua} = \frac{2911}{3371}$$

$$X_{agua} = 0.8635$$

### Estimación del error

$$\sigma X_{8agua} = \sqrt{\left( \frac{\partial X_{8agua}}{\partial \dot{m}_8} \sigma_{m_7} \right)^2 + \left( \frac{\partial X_{8agua}}{\partial X_{agua}} \sigma X_{agua} \right)^2}$$

$$\sigma X_{8agua} = \sqrt{\left( \frac{943^2}{3371^2} \right) + \left( \left( \frac{2911}{3371} \right)^2 \times (939)^2 \right)}$$

$$\sigma X_{8agua} = 0.3689$$

$$X_{agua} = 0.8635 \pm 0.3689$$

### **ANEXO 3 Datos muestreados**

#### **- Características de la materia prima, resultados expresados en porcentaje.**

##### **Resultado de 486 datos.**

<b>Parámetro %</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Sólidos solubles	26.8	5.4
Grano	43.3	4.9
Olote (coronta)	26.6	4.9
Materia Vegetal	25.7	3.8
Resto vegetal	4.3	1.9
Humedad Relativa	71.0	2.8
Bajo calibre < 14.5	1.7	2.3
Daño insectos	0.9	0.73
Deshidratado	2.45	2.45
Hongo	0.37	0.55
Carbón	0.45	1.05
Inmadurez	0.33	0.62
Mala Polinización	1.63	1.27

#### **- Flujos de alimentación en distintos puntos de control en el proceso.**

<b>Flujos (Kg/h)</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación estándar</b>
Cinta de alimentación	10123	1303.57
Cinta de selección	7478.5	1492.3



Granos de maíz	6632.42	1464.28
Separador por densidad Onley	3538.78	863.26
Escaldador	3328.53	862.66
Hidrocooler	3675.83	914.376
Congelador IQF	3415.02	983.867
Producto congelado	3370.63	939.064

- **Parámetros del proceso, resultado expresado en porcentaje.**

<b>Parámetros medidos</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desviación Estándar</b>
Temperatura, Granos de maíz (°C)	16.07	1.08
Sólidos solubles, Granos de maíz (°bx)	18.67	3.06
Temperatura del agua del separador ONLEY (°C)	15.71	2.84
Sólidos solubles del agua del separador ONLEY	4.36	1.26
Temperatura del grano, salida del ONLEY	17.12	2.40
Sólidos solubles, grano salida del ONLEY	16.14	2.31
Temperatura vapor del escaldador	98.8	2.68
Sólidos solubles agua de condensado	4.15	0.98
Sólidos solubles, grano escaldado	12.57	1.88
Temperatura, grano escaldado	92.22	1.09
Temperatura agua Hidrocooler	5.41	1.61
Sólidos Solubles agua de Hidrocooler	1.19	1.10
Temperatura, grano frío (°C)	9.07	1.46
Sólidos solubles, granos fríos (°bx)	9.39	1.49
Temperatura del IQF, a la entrada del producto (°C)	-24.92	3.62
Temperatura del IQF, a la entrada del producto (°C)	-22.31	3.03
Duración del ciclo de congelación (min.)	276.83	68.65
Temperatura, Grano congelado (°C)	-20.30	2.15

ANEXO 4

Detalle de la capacidad de los equipos del proceso.

LINEA: MAIZ DULCE GRANO

