



Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz



## Reporte Final de Estadía

Mariana Martínez Flores

Evaluación del tamaño de partícula en el alimento balanceado de cerdo mediante un análisis granulométrico.



# Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo  
Procesos Bioalimentarios

Reporte para obtener título de  
Ingeniero en procesos Bioalimentarios

Proyecto de estadía realizado en la empresa  
Agroindustrias de Córdoba S.A de C.V

Nombre del proyecto  
Evaluación del tamaño de partícula en el alimento balanceado de  
cerdo mediante un análisis granulométrico.

Presenta  
T.S.U. Mariana Martínez Flores

Cuitláhuac, Ver., a 18 de Abril de 2018.



## Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa Educativo  
Procesos Bioalimentarios

Nombre del Asesor Industrial  
Q.I. Xóchitl Paola Reyes Romero

Nombre del Asesor Académico  
MC. Ismael Alatraste Pérez

Jefe de Carrera  
MCIBQ. Darney Citlaly Martínez Díaz

Nombre del Alumno  
T.S.U. Mariana Martínez Flores

## AGRADECIMIENTOS

Antes que a nadie quiero agradecer a Dios por darme la oportunidad de llegar hasta este momento, es por eso que este proyecto está dedicado a él porque sé que a pesar de todas las circunstancias siempre está conmigo y ha sido la luz en mi camino.

Agradezco mucho también a mis padres Faustino Martínez Silva y Virginia Flores Feliciano, porque ellos han sido mi motor para continuar, gracias por los valores que me han enseñado en todo tiempo, agradezco mucho su amor y sus consejos.

A mi compañero de vida Saúl García Ramírez, tú eres quien siempre has estado a mi lado cuando más lo he necesitado y comparto contigo cada uno de mis triunfos y este es uno de ellos, gracias por ayudarme a emprender el vuelo como las águilas.

También les debo un agradecimiento a mis hermanos, los que siempre me han animado con cada una de sus palabras y son mi impulso para ser mejor cada día.

A mis amigos, gracias por los ánimos, por cada palabra de aliento por su compañerismo, por esos momentos agradables que hemos vivido.

Agradezco a mis maestros, a cada uno de ellos porque gracias a sus conocimientos y enseñanzas he llegado hasta esta etapa de mi vida, agradezco sus regaños, sus correcciones y su apoyo.

Sin duda también agradezco mucho a todas y cada una de las personas que pusieron su granito de arena para el desarrollo de este proyecto, porque sin su ayuda no lo habría logrado, y no me queda más que decir muchas gracias a todos.

## RESUMEN

En el siguiente proyecto se incluyen los pasos que se siguieron para la evaluación de tamaño de partícula en la molienda de maíz, para la elaboración del alimento balanceado de cerdo. La materia prima que se utiliza en la obtención de este alimento es el maíz amarillo grado 2, la mayor proporción de la producción mundial del maíz se usa en alimentación animal.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es colaborar con la empresa Agroindustrias de Córdoba S.A de C.V, recopilando información de gran importancia con el fin de poder darle una solución a la problemática que existe en la molienda, porque la granulometría de dicha harina es de gran importancia para la alimentación de los cerdos, por eso es necesario que cumplan con estándares establecidos para no afectar a la buena nutrición de los cerdos.

Para esto fue necesario realizar algunas pruebas en la planta de producción de alimentos, observando muy de cerca el proceso y en especial el molino de martillo que se utiliza en la empresa, también fue muy importante que al realizar la molienda se ajustara a las cribas correctas en este caso de 2.5 y 4 mm, controlando la compuerta del alimentador y el giro del motor (derecha o izquierda).

También se tomaron diferentes muestras de la molienda para realizarle alguno análisis físicos como la granulometría y poder comprobar que los micrones se encontraran dentro de los limites, otro análisis que se realizó fue el en quipo NIR's Foss en donde se determinó la humedad con la que

entra el maíz y con la cual sale la molienda. Ya que es un factor muy importante en el tamaño de la partícula.

La finalidad de este trabajo fue realizar varios análisis granulométricos con diferentes muestras de molienda, utilizando el método de tamizado para observar el comportamiento de cada una de ellas, y se pudo observar que la variabilidad que existe es debido a la humedad que se encuentra en el maíz, esta variable afecta el subproducto (molienda de cerdo), para obtener dicho resultado se trabajó con el software llamado Minitab versión 17, en donde se utilizaron análisis estadísticos como el análisis de varianza, así como las gráficas de línea ajustada para poder observar el comportamiento que se tiene en la molienda de acuerdo a la humedad del maíz y sobre esos resultados se analizó la variabilidad que existe en el tamaño de partícula.

Después de analizar los resultados obtenidos en el software Minitab versión 17, se determinó que sin duda el factor que más influye en la molienda es la humedad y se encontró que a mayor humedad mayor tamaño de partícula, una vez encontrada la respuesta se realizaron las recomendaciones correspondientes para minimizar la variabilidad en el tamaño de partícula, obteniendo los micrones correspondientes de acuerdo a las especificaciones de la empresa Agroindustrias de Córdoba S.A de C.V. para elaborar un producto terminado con los más altos estándares de calidad y así poder cumplir con su objetivo.

**Palabras claves:** granulometría, harina, molienda, alimento para cerdo.

## Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>ii</b>
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1.1 Estado del Arte.....	2
1.1.2 Historia de los alimentos balanceados.....	2
1.1.3 El maíz .....	3
1.1.4 Reducción de tamaño de partícula .....	4
1.1.5 Mecanismos básicos de reducción de tamaño de partículas.....	5
1.1.6 Factores que afectan la molienda .....	7
1.1.7 Importancia de la granulometría en los alimentos balanceados .....	9
1.1.8 Ecuaciones.....	10
1.1.9 Tipos de molienda de maíz.....	14
1.1.10 Molienda húmeda de maíz.....	14
1.1.11 Molienda seca de maíz.....	14
1.1.12 Silos de almacenaje de maíz.....	15
1.1.13 Molino de discos .....	16
1.1.14 Molinos de rodillos.....	17
1.1.15 Función del molino de martillos.....	18
1.1.16 Métodos de medición de tamaño de partículas .....	20
1.2 Planteamiento del Problema .....	24
1.3 Objetivo.....	25
1.3.1 Objetivo general .....	25



1.3.2	Objetivos específicos.....	25
1.4	Definición de variables.....	26
1.5	Hipótesis.....	27
1.5.1	Hipótesis alternativa ( $H_a$ ).....	27
1.5.2	Hipótesis nula ( $H_0$ ).....	27
1.6	Justificación del Proyecto.....	28
1.7	Limitaciones y Alcances.....	29
1.8	La Empresa Agroindustrias de Córdoba S.A de C.V.....	30
1.8.1	Estructura organizacional de Agroindustrias de Córdoba.....	31
1.8.2	Misión.....	31
1.8.3	Visión.....	31
1.8.4	Objetivos.....	32
1.8.5	Valores.....	33
1.8.6	Organigrama.....	34
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....</b>		<b>36</b>
2.1	Proceso de elaboración del alimento balanceado.....	37
2.1.2	Descripción del proceso de producción.....	38
2.1.3	Recepción de materia prima.....	38
2.1.4	Muestreo.....	38
2.1.5	Análisis.....	38
2.1.6	Almacenamiento de Materia Prima.....	39
2.1.7	Molienda.....	40
2.1.8	Visualización de variables que afectan la molienda.....	41
2.1.9	Toma de muestra de las moliendas de maíz amarillo.....	42
2.1.10	Análisis de las muestras obtenidas.....	42





2.1.11 Análisis físico (Granulometría) .....	42
2.1.12 Análisis en el equipo NIR's Foss.....	43
<b>CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>44</b>
3.1 Materiales .....	44
3.2 Método.....	45
3.3 Calculo de micrones .....	47
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>	<b>48</b>
4.1 Resultados .....	48
4.2 Interpretación de resultados.....	48
4.3 <b>Conclusion</b> .....	50
4.4 Trabajos Futuros.....	51
4.5 Recomendaciones .....	51
4.5.1 Recomendaciones para el almacenamiento. ....	51
4.5.2 Recomendaciones para granulometría .....	52
<b>5 ANEXOS.....</b>	<b>53</b>
<b>7 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>

## Contenidos de Figuras

<b>Figura 1.</b> Estructura del grano de maíz.....	4
<b>Figura 2.</b> Silo con aireación para almacenamiento de maíz.....	14
<b>Figura 3.</b> Molino de discos.....	15
<b>Figura 4.</b> Molino de rodillos.....	16
<b>Figura 5.</b> Molino de martillos.....	18
<b>Figura 6.</b> Mallas de diferente “MESH” .....	19
<b>Figura 7.</b> Incidencia del haz láser sobre material particulado y difracción del mismo.....	22
<b>Figura 8.</b> Estructura organizacional de la empresa Agroindustrias de Córdoba S.A de C.V.....	32
<b>Figura 9.</b> Diagrama de proceso para la evaluación del tamaño de partícula.....	33
<b>Figura 10.</b> Diagrama de proceso de producción de alimento balanceado.....	34
<b>Figura 11.</b> Equipo NIR´s.....	39
<b>Figura 12.</b> Maíz amarillo.....	39
<b>Figura 13.</b> Maíz molido.....	39
<b>Figura 14.</b> 100g de muestra y brochas para limpiar las mallas.....	41
<b>Figura 15.</b> Juego de tamices .....	42
<b>Figura 16.</b> Retención de muestra en las mallas.....	42
<b>Figura 17</b> Informe de capacidad de proceso.....	44

## Contenido de tablas

<b>Tabla 1.</b> Variables importantes en el proceso.....	25
<b>Tabla 2.</b> Calculo de micrones, muestra retenida en cada malla.....	51
<b>Tabla 3.</b> Número de mallas y su equivalencia en micrones.....	52
<b>Tabla 4.</b> Resultado de operaciones para la obtención de micrones.....	53

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La molienda se caracteriza por ser un proceso con rendimientos energéticos muy bajos, ya que durante la operación solo el 2% de la energía se utiliza para reducción de tamaño y el 98% restante se disipa en forma de calor, vibración y ruido. La molienda hace referencia a la reducción de tamaño que es aquella operación unitaria en la que el tamaño medio de los alimentos sólidos es reducido por la aplicación de fuerza. (Fellows, 1994).

Sin embargo, pese a esto, en la industria y en especial en la industria de los alimentos suele ser una necesidad frecuente desmenuzar los sólidos mediante la aplicación de fuerzas mecánicas; de impacto, compresión, cizalla o abrasión, esto puede facilitar la extracción de un constituyente deseado, contenido en una estructura compuesta, como sucede por ejemplo en la obtención de harinas a partir de granos como el maíz. (Cafagda, 1997).

En base a esto cabe mencionar en este contexto, el tema granulometría con una relevancia significativa como una herramienta útil en cuanto a nutrición de animales se refiere, para estimular a un mejor consumo y mejorar tasas de digestión y aprovechamiento de los nutrientes.

Debido a esto es importante centrar la atención en la molienda del maíz, para la elaboración de alimentos balanceados. El propósito de la molienda es preparar y pulverizar el grano y las otras materias primas en una estructura óptima, de modo que los animales absorban tanto valor nutritivo como sea posible. Los diversos animales tienen distintas necesidades de estructura, por ello existen hoy varias máquinas para producir alimentos molidos. El sistema de molienda se determina según la clase de alimento que se desea producir en la planta, por ejemplo: Para cerdos y aves de corral se utilizan molinos de martillo y molinos de disco.

La molienda es el primer procesamiento que sufren las materias primas en la elaboración del alimento balanceado para cerdos, la cual es de gran importancia en la alimentación y nutrición de los porcinos. El tamaño de las partículas dependerá del tipo de molino (martillos, rodillos), del



diámetro de orificio de la criba o de las revoluciones del motor, así como de otros factores: estado de las placas de choque, superficie perforada y disposición de los orificios de la criba, número y estado de los martillos, cantidad de aire de la aspiración, etc. Con el molino se pretende conseguir la granulometría adecuada de las partículas en tamaño y forma según la presentación del alimento terminado en este caso es harina. (Cirilo, A. G. Y Andrade, F. H. 1998).

Debido a ello es necesaria la evaluación del tamaño de partícula en el alimento balanceado, se establece como una prioridad en el aseguramiento de la calidad, porque representa un aspecto importante de las operaciones de fabricación de alimentos, con el objetivo de dar al animal productos con la calidad adecuada.

### **1.1.1 Estado del Arte**

#### **1.1.2 Historia de los alimentos balanceados**

En 1894 la compañía “Robinson Danforth Comission” nace como pequeño negocio de venta de alimentos para animales en St. Louis Missouri en Estados Unidos. Con la premisa de que los animales tienen que alimentarse todos los días de su vida, Danforth y socios inician una de las empresas más grandes y de mayor prestigio que hoy en día todos conocemos como PURINA.

A finales del siglo XIX y principios del XX, las compañías de productos de esta índole empiezan a prosperar notablemente. Más adelante y a pesar de los efectos devastadores de la primera guerra mundial, Ralston-Purina, mantiene un crecimiento sólido y consistente. Con esto en 1922 llegan al mercado con su línea de alimento para cerdos, marcando una pauta que la mantiene en el mercado como una de las mejores.

Con el paso del tiempo, se ha incrementado la demanda de alimentos para animales, una evaluación hecha por Alltech y publicada en 2013 menciona que el crecimiento de alimento para cerdo, igualó el de las aves, 8%, llegando a 218 millones de toneladas a nivel global. La producción de alimento a nivel global del pollo es de 418 millones de toneladas, todo ello en 2012.



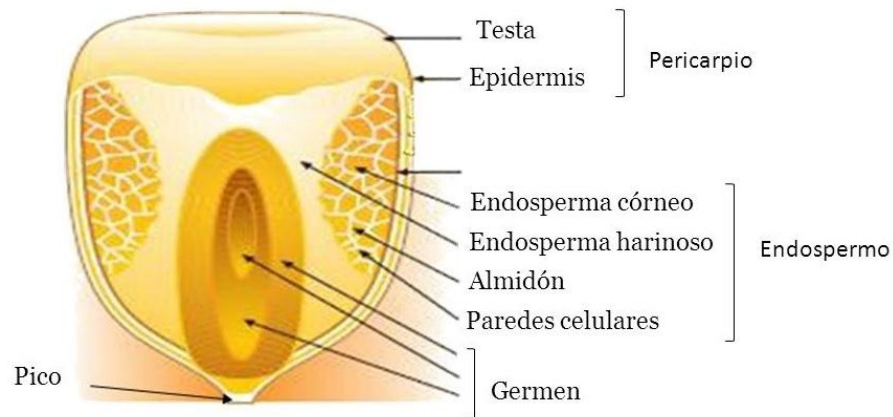
### 1.1.3 El maíz

Bressani et al. (1990). Las variedades cultivadas fundamentalmente de maíz para alimentación comprenden: el maíz dulce, reventador, dentado, harinoso y cristalino. El maíz harinoso es un grano con endospermo blando. El maíz de tipo dentado tiene un endospermo calloso y vítreo a los lados y el núcleo central es blando. El maíz de tipo cristalino posee un endospermo grueso, duro, vítreo, con un centro pequeño. El grano posee 4 estructuras principales:

- Pericarpio: capa exterior de cubierta protectora dura y fibrosa que encierra al grano.
- Endospermo: reserva energética, representa el 80-84 % de peso total del grano. Compuesta por 90 % de almidón y 7 % proteínas acompañadas de aceites, minerales y otros compuestos. Funciona como dador de energía a la planta en su desarrollo.
- Germen: en el extremo más bajo del grano ocupando el 9,5 al 12 % del volumen total de grano. Posee dos partes destacables, el eje embrionario (planta nueva) y el escutelo que constituye una gran reserva de alimento. En el grano maduro el germen contiene alto porcentaje de aceites de 35 a 40 %.
- Pedicelo: es un tejido inerte que une al grano al elote.



## • Estructura del grano de maíz.



**Figura 1.** Estructura del grano de maíz.

### 1.1.4 Reducción de tamaño de partícula

Cuando se habla de reducción de tamaño de partícula, se está generalizando la operación, cuyo objetivo es hacer que partículas grandes se reduzcan, no necesariamente por molienda, pues como se verá, este proceso abarca otras variedades de operaciones físicas. La reducción de tamaño tiene varios objetivos entre los cuales están:

- Facilitar el transporte (aprovechar mejor el volumen)
- Facilitar una operación de extracción de masa como lixiviación, entre otras
- Facilitar la reacción química
- Obtención de materias primas.

### 1.1.5 Mecanismos básicos de reducción de tamaño de partículas

Como los sólidos son tan diversos, y diversos son los tamaños que se les puede dar, un solo mecanismo de fraccionamiento no se adapta a todo, así se tendrán 6 fenómenos o mecanismos básicos que son:

- Por prensado: dos masas de material más duro que el sólido se acercan en forma gradual comprimiéndolo, como lo haría un cascanueces.
- Por golpeo: el sólido es proyectado violentamente contra una masa dura o bien la masa dura contra el sólido, en forma violenta y rápida, impactándose ambas. El ejemplo clásico es el martillo.
- Por frotación: una pieza móvil o fija de dureza mayor que el sólido y con aspereza raspa al sólido, o sea desmenuza por atrición y sus ejemplos clásicos son la lima y el esmeril.
- Por cortado: cuchillas filosas y fuertes cortan el sólido (generalmente de tipo fibroso y no muy duro); el corte es por cizalladura y el ejemplo clásico es la tijera y la guillotina.

Existen otros mecanismos que no son 100 % mecánicos:

- *Shock* térmico: si un sólido se calienta y enfría súbitamente se tiende a fracturar.
- *Shock* sónico: algunos sólidos se fracturan en presencia de cierto tipo de ondas acústicas.





La molienda es una operación unitaria que se define como la reducción de tamaño de partículas sólidas a partir de la aplicación de fuerzas mecánicas (compresión, impacto o cizallamiento), las cuales provocan la fracturación o quebrantamiento de las partículas. La molienda solo implica una transformación física que debe conservar las características de la materia prima.

Las ventajas que se obtienen son:

- Cuando se combina con un proceso de cribado: Pueden obtenerse partículas de un tamaño determinado.
- Cuando el tamaño de la partícula de los productos que van a mezclarse es homogéneo: el mezclado de los ingredientes resulta más eficaz.

En la reducción de tamaño existen variables que pueden modificarse durante el proceso de molienda las cuales son:

- Velocidad de alimentación: permite modificar la rapidez con la que ingresa cierta cantidad de material en función del tiempo. Mediante la modificación de las velocidades de alimentación las intensidades obtenidas serán diferentes por lo tanto también será distinta de su potencia y su energía.
- Abertura de la criba de salida: determina el tamaño de las partículas. Cuando se coloca a una criba en un molino se garantiza que el tamaño máximo obtenido es el diámetro que corresponde a la criba de salida.



### 1.1.6 Factores que afectan la molienda

Los sólidos están formados por diferentes compuestos que le confieren distintas propiedades, físicas y químicas, que van a afectar de cierta manera la molienda.

#### Químicas.

- Contenido de humedad: la presencia de agua puede facilitar o complicar el proceso de molienda. Para la mayoría de las sustancias, un contenido en humedad mayor de 2% o 3% puede producir un embotamiento del molino o simplemente atascarse, ya que los materiales se vuelven pastosos y adherentes especialmente en la reducción grosera o intermedia. (Brennan, 1998).
- Contenido de en grasa o en aceites. Si la cantidad de grasa o aceites es elevada produce aglomeraciones y por consiguiente el atascamiento del molino. Los materiales grasos exigen trabajar con bajas temperaturas para que las grasas puedan solidificarse haciendo el material altamente friable. (Brennan, 1998).



## Físicas

- Dureza: Se define como la energía necesaria para romper el material. La determinación de la dureza permite establecer el tipo de fuerza que puede actuar sobre la materia prima, el tiempo de resistencia en la zona de acción y ayuda a predecir los consumos energéticos de los molinos; en efecto, los productos más duros son los difíciles de triturar por lo tanto se requiere mayor energía y el tiempo de resistencia es prolongado.
- Friabilidad o fragilidad: Se define como la facilidad con la que una sustancia puede ser desmenuzada por el choque, mientras más pequeña es la partícula mayor es la cantidad de energía que necesita para romperse.
- Sensibilidad a la temperatura: Las partículas durante la reducción de tamaño se encuentran en constante fricción y movimiento provocado un aumento de temperatura que se va a disipar en forma de calor ocasionando en algunos casos, degradación del producto y en casos extremos combustión espontánea o incluso explosión debido a los “polvos”. Es importante conocer las temperaturas de ablandamiento o fusión.
- Tamaño y Forma de la materia prima: Indica la clase de fuerza que hay que aplicar para efectuar la trituration involucrando la forma y tamaño del material a moler. Es importante saber el tipo de estructura que tienen los productos alimenticios ya que para poder desintegrarlos en algunos casos no es suficiente la fuerza de compresión o impacto si no es necesario desgarrarse o cortarlos. La uniformidad del tamaño y forma permite mayor control del proceso para obtener productos más homogéneos. Si las geometrías son similares los desperdicios serán menores y el manejo durante la operación es más fácil.



### 1.1.7 Importancia de la granulometría en los alimentos balanceados

Zanotto, y Bellaver, (1996) indican que el maíz como principal componente energético de las raciones, contribuye con aproximadamente 60 a 75 % de las formulaciones, ocupando una posición destacable en cuanto al retorno económico. Este ingrediente, necesita ser molido. La granulometría del maíz influencia algunos aspectos de importancia técnica y/o económica en la producción de cerdos, tales como: costo de producción, digestibilidad de nutrientes, desempeño animal y desenvolvimiento de lesiones esófago-gástricas.

En cerdos, la mortalidad causada por úlcera gástrica puede llegar a 1% del rebaño, debido al uso de dietas molidas muy finas (NIELSEN, 1994). De acuerdo con algunos investigadores, las condiciones de stress llevarían a una mayor secreción de pepsina y de ácido clorhídrico por el estómago, que con el tiempo provocaría una irritación inicial de la mucosa gástrica denominada hiperqueratosis. Persistiendo estas condiciones desfavorables, el cuadro evolucionario para una úlcera gástrica. El uso de alimentos con granulometría muy fina aumenta también la secreción de pepsina y acidez estomacal agravando el cuadro.

Las características físicas de granulometría de una dieta son dadas por la relación volumen/peso, por el tamaño de las partículas que se expresa por el diámetro geométrico promedio y por la variación en el tamaño de las partículas que es descripto por el desvío padrón geométrico, donde el menor valor corresponde a mayor uniformidad de las partículas.

NIR et al. (1994) resaltan que el diámetro geométrico medio (DGM) de dos raciones puede presentar valores semejantes, pero ser compuestas por partículas muy diferentes, como, por ejemplo, una con partículas “medias uniformes” y otra por mezcla de partículas con granulometría gruesa y fina.

Entonces, para caracterizar bien la granulometría es necesario además del DGM establecer el desvío padrón geométrico (DPG) de las partículas, donde el menor DPG indica una mayor uniformidad y viceversa.



Se ha reconocido que el aumento del DGM asociado al menor DPG permite un mejor desarrollo del tracto gastrointestinal de las aves, aumento de la motilidad intestinal, inclusive peristaltismo revertido y modificación de la flora intestinal. (WILLIANS et.al., 1997)

### 1.1.8 Ecuaciones

Estudios teóricos indican que la energía suministrada por unidad de masa procesada para producir un pequeño cambio en tamaño puede expresarse como una función del tipo ley de la potencia con respecto al tamaño de las partículas a continuación se muestra la interpretación general de leyes de reducción de tamaño.

$$\frac{dE}{dx} = \frac{K}{x^n}$$

Donde:

**dE:** diferencia de energía requerida

**dx:** diferencia de tamaño de la partícula

**X:** diámetro de partícula

**K y n:** constantes (dependen de tipo y tamaño del material, así como de la maquina a emplear)

## Ley de Kick

Kick en 1885 propuso que la energía requerida para moler un material debía ser proporcional a la reducción de tamaño, respecto al inicial.

“la energía requerida para reducir el tamaño de un material es directamente proporcional a la reducción de tamaño”

$$E = \frac{P}{T} = K_k \ln \frac{X_1}{X_2}$$

Donde:

**E**= energía requerida para reducir una unidad de masa de la alimentación (Hp \* h / ton)

**K<sub>k</sub>**= constante de Kick

**X<sub>2</sub>**= tamaño medio final del producto (mm)

**X<sub>1</sub>**= tamaño medio inicial del alimento (mm)

**P**= potencia (Hp)

**T**= velocidad de alimentación (Ton / h) (kg / h) (g / min)

La ecuación indica que debería usarse igual energía para moler una partícula de 10 μm a 1 μm, que una roca de 1 m a bloques de 10 cm. Obviamente esto no es posible, la ecuación de Kick es razonable cuando se procesan materiales gruesos.



## Ley Rittinguer

Rittinguer en 1867 consideró que cuando se muele material, la energía requerida debería guardar una relación con la nueva superficie generada durante la molienda

“El trabajo de trituración es proporcional a la nueva superficie creada”

$$E = \frac{P}{T} = K_k \left[ \frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right]$$

Donde:

**E:** Energía requerida para reducir una unidad de masa de la alimentación (Hp \* h / ton)

**KR:** Constante de Rittinguer

**X2:** Tamaño medio final del producto (mm)

**X1:** Tamaño medio inicial del alimento (mm)

**P:** Potencia (Hp)

**T:** Velocidad de alimentación (ton/h)

En la práctica se requiere una energía mucho mayor a la requerida para crear una nueva superficie, por esta razón la ecuación de Rittinguer es una buena aproximación cuando se genera una alta superficie, es decir cuando se realiza una molienda muy fina del material.



## Ley Bond

En esta ecuación  $x_1$  y  $x_2$  representan el tamaño del tamiz (expresado en micrones) por el cual el 80% del material (de la alimentación y del producto) pasa.  $E_i$  se denomina índice de trabajo de Bond. Este parámetro representa la energía requerida, por unidad de masa, para moler un material de tamaño infinito a un tamaño de 100 micrones.

$$E = \frac{P}{T} = 1.46 E_i \left[ \frac{1}{\sqrt{x_2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1}} \right]$$

Donde:

$E_i$ : Índice de trabajo (Kw\*h /ton)

$x_2$ : Tamaño medio final del producto (ft)

$x_1$ : Tamaño medio inicial del alimento (ft)

$P$ : Potencia (Hp)

$T$ : Velocidad de alimentación (ton/min) 1.46: Hp min / Kw\*h

La ecuación de Bond permite representar la molienda razonablemente para materiales gruesos y finos.

Las ecuaciones presentadas permiten caracterizar la molienda de manera global, y son herramientas útiles para una primera caracterización del proceso de ruptura.





### **1.1.9 Tipos de molienda de maíz**

Existen 2 tipos de molienda de maíz, siendo estos: molienda húmeda y molienda seca. Los cuales son utilizados para procesos diferentes en la industria como la obtención de aceites, harinas y almidón, entre otros.

#### **1.1.10 Molienda húmeda de maíz**

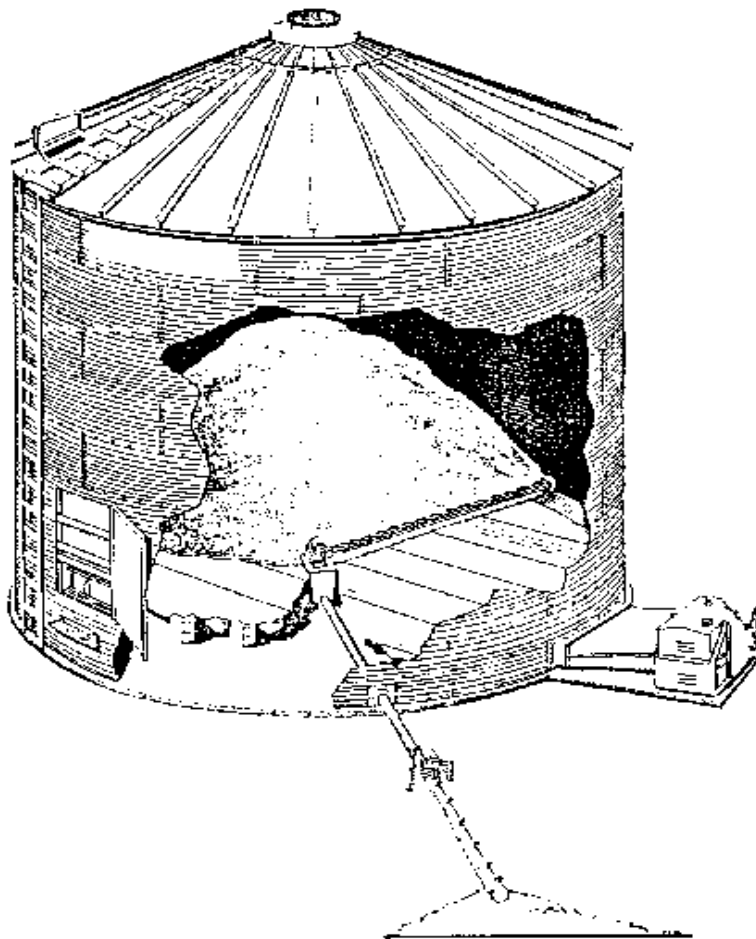
Este proceso está creado para la obtención de almidón puro, además de aceite y edulcorantes. Los maíces duros y dentados son los más apreciados por la industria para ser molidos. La extracción de almidón y aceite comprenden cerca del 70 % de los productos obtenidos y el 30 % restante se compone principalmente en la forma de fibras, que en su mayoría se convierten en alimento para animales. Durante este tipo de molienda se separa el germen del grano de maíz, el cual se procesa para obtener aceites comestibles, después que el germen ha sido separado se separa la cáscara, llamada salvado o afrecho, así como la proteína de gluten. El almidón puede ser procesado en etanol o edulcorantes. (Pagnacco, Silvio, 2007).

#### **1.1.11 Molienda seca de maíz**

Con la molienda seca se produce una variada gama de productos alimenticios y no alimenticios. Existen tres procesos básicos como el proceso de molienda en piedras o equivalente, el cual produce una serie de harinas de distinto grosor, ricas en afrecho y germen. El segundo proceso y más común, se basa en la remoción del germen. El endospermo es entonces usado para producir diversas harinas y cereales para desayuno que tienen una buena conservación al retirar el germen, los principales subproductos de este proceso son: el germen que es usado para la extracción de aceites, la harina de germen desgrasada, asimismo es obtenido el salvado. De este proceso se obtiene harina de maíz cruda, grits y harina gruesa. El tercer proceso se usa principalmente en la industria de bebidas, en la destilación de alcohol, que es la mayor consumidora de productos del maíz molidos en seco. (Pagnacco, Silvio 2007).

### 1.1.12 Silos de almacenaje de maíz

En esta etapa del proceso se realiza la recepción y almacenaje del grano de maíz en silos, en los cuales se controla la temperatura del grano por medio de aireadores. Figura 2. Silo con aireación para almacenamiento de maíz. (Lezcano, E. 2012).



**Figura 2.** Silo con aireación para almacenamiento de maíz.

### 1.1.13 Molino de discos

El sólido avanza en un ducto por acción de un tornillo sin fin o su equivalente, y llega a un punto donde se proyecta radialmente hacia fuera, entre dos discos o muelas, las cuales tienen una convergencia radial, lo que indica que están más separadas entre sí en el centro de rotación que en la periferia de los discos. Estos discos pueden ser uno fijo y el otro móvil o bien los dos móviles, en rotación opuesta. Pueden tener estrías gruesas o finas en las muelas frente a frente. Reciben partículas generalmente de 1 cm o menos y pueden producir polvos de *mesh* 200. Se trabajan con sólidos abrasivos y semiduros, pero con aleaciones correctas en la muela, pueden trabajar duros. Es un molino muy típico en la industria. (McCabe, Warren; Smith, Julian; Marriot, Peter. 2002).



**Figura 3.** Molino de discos

### 1.1.14 Molinos de rodillos

En este caso dos rodillos rotan a favor mutuo, separados a distancias estrechas, (uno al menos tiene fuerza activa, el otro rueda llevado por la fricción), uno de ellos tiene finas estrías, a veces los dos las poseen. Son típicos de las industrias harineras, siendo que se trabajan en series de hasta 5 y 7 unidades sucesivas, cada cual más estrecha (molienda más y más fina cada vez). Estos molinos reciben partículas de tamaño grano (1cm a 1 mm) y las reducen poco por pasada con razón de reducción de tamaño de 3/1 y 4/1. Las series pueden producir *mesh* 200 inclusive. Se usan en sólidos blandos y poco abrasivos. Se traban mucho y consumen mucha energía. (Perry ,2015).

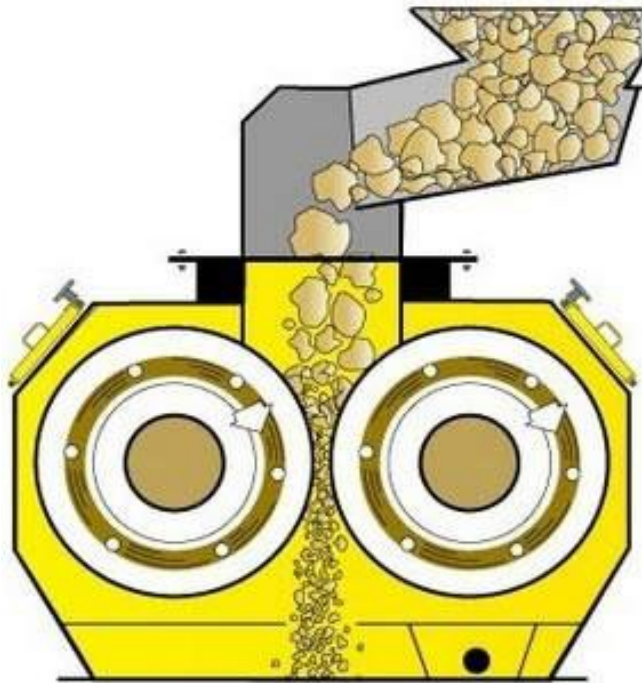


Figura 4. Molino de rodillos.

### 1.1.15 Función del molino de martillos

En los molinos de martillos, un martillo oscilante va unido a un rotor que se mueve a gran velocidad dentro de una carcasa fuerte. La sustancia es pulverizada y triturada entre los martillos y la carcasa, permaneciendo en el molino hasta que sea lo suficientemente fina para pasar a través del tamiz que constituye el fondo de la carcasa.

Los molinos de martillos consisten en general de una cámara cilíndrica recubierta por una plancha perforada de acero endurecido, en el interior de la cual un rotor, dotado de martillos en toda su longitud, rueda y gira a gran velocidad. La desintegración del alimento se produce principalmente por fuerzas de impacto al ser impulsado contra la plancha de recubrimiento. En algunos diseños se ha reducido la boca de salida del molino, el cual retiene al alimento hasta que las partículas tengan el tamaño adecuado para atravesarla, en este caso predominan las fuerzas de cizalla.

Los molinos de martillo -con o sin el ventilador- están disponibles con capacidades a partir de 200 Kg/h hasta 80 t/h dependiendo de la materia prima y de la molienda requerida. La materia prima está molida en un compartimiento donde un rotor con los martillos machaca la materia prima a la talla de partícula que puede pasar la zaranda montada.

El diámetro de los agujeros de la zaranda decide la estructura final del producto. Al cambiar la talla de la zaranda usted cambia la estructura del alimento. La estructura del producto de un molino de martillo no es homogénea, ya que se generan muchas partículas pequeñas desproporcionadas.

Si se requiere una estructura más gruesa, usted monta una pantalla con agujeros más grandes, con el riesgo de generar partículas demasiado gruesas y, quizás, granos enteros en algunas materias primas. Por lo tanto, es necesario trabajar con una "zaranda de compromiso", que da una estructura suficientemente satisfactoria. Figura 5 molino de martillos.





**Figura 5.** Molino de martillos

### 1.1.16 Métodos de medición de tamaño de partículas

#### Tamizado

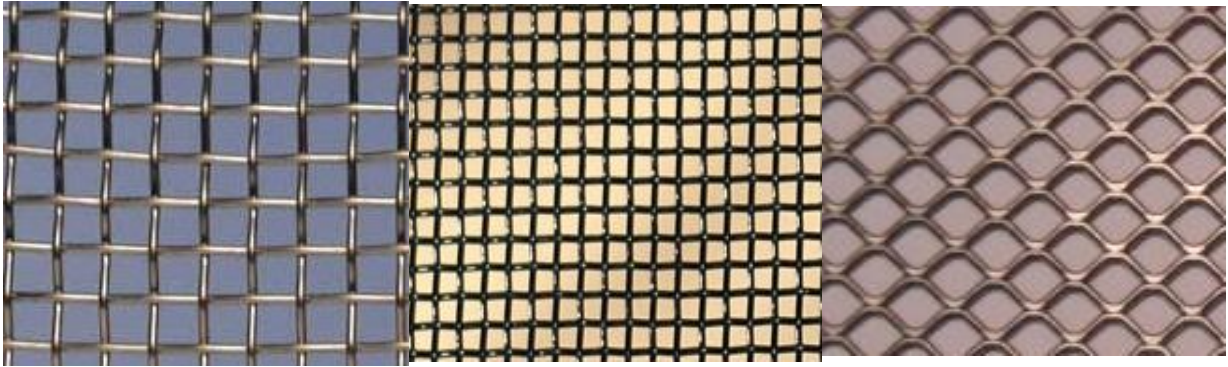
Esta técnica es adecuada para el análisis de partículas que se encuentren en el rango de 125  $\mu\text{m}$  a 20  $\mu\text{m}$ . La muestra de partículas es tamizada en una torre de tamices con mallas de distinto diámetro que siguen una progresión geométrica y se encuentran estandarizados. Una vez que se establece la torre de tamices, se colocan en un equipo que agita el conjunto de tamices por el tiempo que se desee, o la técnica requiera. En general, si se carga más masa mayor tiempo de tamizado será requerido.

El tamiz que tiene la apertura mayor se coloca arriba, y un recipiente ciego al fondo para contener todas las partículas pequeñas que pasan el tamiz de menor apertura. Una vez terminado el proceso de tamizado se pesa lo recolectado en cada tamiz, los datos luego se representan de diversas maneras como se verá a continuación. Es importante recalcar que el análisis por tamizado da resultados en masa. El método de tamices es muy usado porque requiere baja inversión, los operadores no tienen que ser muy calificados, la técnica es simple.

Las mallas que poseen los tamices pueden ser especificadas por el número de aperturas por pulgada lineal (MESH) y el espesor del alambre; o también por el diámetro de apertura (dA). En la Figura 6 se muestran mallas de diferente "MESH", cuanto más grande es el "MESH" menor la apertura. El tamaño de las partículas queda determinado por los diámetros de tamiz.







**Figura 6.** Mallas de diferente “MESH”

Tamices estándares Existen muchos tamices estándares, por ejemplo: ASTM (EEUU), BSI (Gran Bretaña), DIN (Alemania), AFNOR (Francia), JSA/JIS (Japón), ISO (Normas internacionales).

En general las aperturas siguen una progresión geométrica que puede ser, por lo tanto, el cociente de dos diámetros de tamiz consecutivos debe dar una razón siempre constante.

## **Microscopía**

La microscopía es el único método que permite la observación y medición de partículas individuales. Mediante la observación de las partículas es posible establecer tamaño, forma y morfología. Los valores de tamaño que se obtengan por microscopía serán más exactos en la medida que se midan más partículas. El resultado del análisis permite establecer el número de partículas. El rango de análisis recomendado para microscopios ópticos es  $3\mu\text{m}$ - $150\mu\text{m}$ . Los microscopios electrónicos pueden analizar partículas de menor tamaño, aproximadamente entre  $0.01\mu\text{m}$ - $100\mu\text{m}$ . Las imágenes que se ven en el microscopio son áreas proyectadas, de manera que las dimensiones dependen de la orientación de las partículas. Se miden los diámetros de Feret, de Martin, de perímetro o de área proyectada. Los microscopios pueden tener algunos dispositivos automáticos que permiten medir las partículas automáticamente.



## Elutriación

La elutriación por aire es especialmente útil para polvos finos, los cuales pueden ser clasificados sometiendo las muestras a diferentes caudales de aire.

Aquellas partículas que alcancen su velocidad terminal (definida por la velocidad de aire en el ensayo), serán arrastradas y podrán ser colectadas aguas abajo del equipo, por ejemplo, con un filtro. Luego se aumenta el caudal de aire y se recolectan partículas más gruesas, y así sucesivamente.

## Sedimentación

En esta técnica se calcula el diámetro de Stokes mediante la observación de la velocidad con la que caen las partículas en un medio fluido estacionario. Se diluye el sistema particulado, comúnmente en agua, para poder asumir que las partículas caen a la velocidad terminal de una partícula única en un medio líquido. Si se asume la Ley de Stokes, el  $Re$  debe ser menor a 0.25 (régimen laminar). Por lo tanto, este método de sedimentación será aplicable a partículas menores a los 50  $\mu\text{m}$  (considerando como fluido agua a temperatura ambiente).

La velocidad de sedimentación de las partículas se establece dibujando la densidad de la muestra retirada en una posición fija vs el tiempo. La densidad de la suspensión se relaciona con la masa de menor tamaño que queda aún por sedimentar. Por su parte el tiempo se lo relaciona con el diámetro de la partícula a través del diámetro de Stokes.

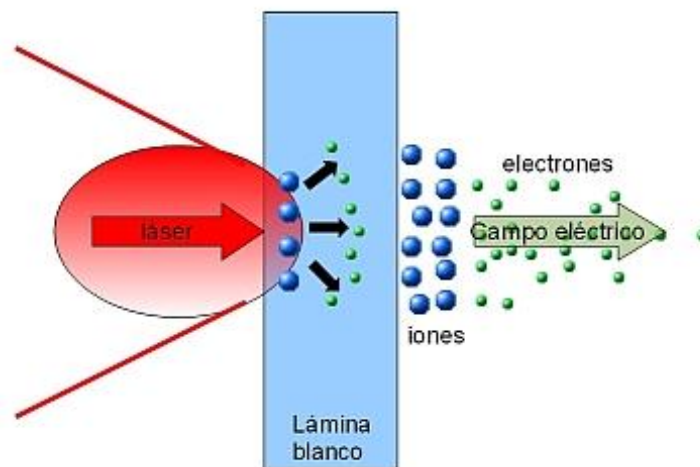


## Difracción Láser

La técnica de difracción láser se basa en el principio que cuando partículas atraviesan una luz láser la dispersa con un ángulo que está directamente relacionado con el tamaño de las partículas. A medida que el tamaño de las partículas disminuye el ángulo de difracción que se observa aumenta logarítmicamente.

Además, la intensidad de la luz es dependiente del tamaño de las partículas, se relaciona con el área transversal de las partículas. Por lo tanto, partículas de mayor tamaño difractan la luz a ángulos pequeños con mayor intensidad, mientras que las partículas pequeñas difractan con mayores ángulos y menor intensidad. En la Figura 7 se muestra un esquema de un equipo de difracción láser, el mismo posee los siguientes componentes:

- Un láser, que provee una fuente de luz a una longitud de onda constante.
- Un espacio donde se confina la muestra dispersa (con aire o líquido)
- Una serie de detectores para medir el patrón de luz.



**Figura 7.** Incidencia del haz láser sobre material particulado y difracción del mismo.

### 1.3 Planteamiento del Problema

En la empresa Agroindustrias de Córdoba S.A de C.V. se elaboran alimentos balanceados para pollo y cerdo de diferentes fases de acuerdo a las necesidades de los animales, para la empresa es muy importante que los alimentos sean de buena calidad para que los pollos y cerdos puedan absorber los nutrientes necesarios del balanceado.

Para cumplir con dicho objetivo se debe tener los cuidados necesarios en la molienda, cumplir con los estándares de calidad pertinentes de acuerdo a cada tipo de alimento, en la actualidad existe una preocupación en el tamaño de partícula porque los analistas se han percatado que existe una variación en el tamaño de partícula al realizar las granulometrías, en especial en el alimento de cerdo.

Es por eso que se ha tomado la decisión de corregir el problema para que no se siga agravando, para esto se tiene que visualizar los factores que están interviniendo en la molienda y que estén ocasionando la variación de micrones.

En la planta de balanceados se trabaja con un molino de martillo para la molienda de maíz la cual es un proceso físico – mecánico utilizado para aumentar la superficie de exposición para mejorar la acción de las enzimas y en el aprovechamiento de los alimentos.

Por lo tanto se debe de monitorear las moliendas que se realizan durante el día, tomando muestras de referencia, analizando tanto la humedad como el tamaño de micrones y evaluar las granulometrías obtenidas en las distintas moliendas, utilizando métodos estadísticos de un análisis de varianza en el software Minitab versión 17 y así obtener variables de respuestas que nos permita conocer el o los puntos críticos que se deben controlar, para evitar que continúe variando el tamaño de partícula de la molienda de cerdo, ya que depende mucho del rendimiento de los animales.



## **1.4 Objetivo**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar el tamaño de partícula en la molienda, para la elaboración del alimento balanceado de cerdo, por medio de un análisis granulométrico, utilizando métodos estadísticos de análisis de varianza en el software Minitab versión 17, para minimizar la variación en la granulometría.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Conocer cada etapa del proceso en la elaboración de alimento balanceado para identificar el problema.
- Visualizar las variables que se puedan controlar que afectan en la molienda.
- Recaudar datos, para conocer los factores que afectan el tamaño de partícula, y finalmente observar el comportamiento de la molienda.
- Evaluar la variación de granulometría de las moliendas obtenidas.
- Analizar la humedad de la materia prima al ingreso del proceso y la humedad de la molienda a la salida, en el equipo NIR's Foss.
- Recomendar acciones correctivas para minimizar las variaciones de granulometría.

## 1.5 Definición de variables

Las variables que pueden modificarse durante el proceso de la molienda son:

- Velocidad de alimentación: permite modificar la rapidez con la que ingresa cierta cantidad de material en función del tiempo. Mediante la modificación de velocidades de alimentación las intensidades obtenidas serán diferentes por lo tanto también será distinta su potencia y su energía.
- Abertura de la criba de salida: determina el tamaño de las partículas. Cuando se coloca una criba en un molino se garantiza que el tamaño máximo obtenido es el diámetro que corresponde a la criba de salida.

A continuación, se muestra en la tabla 1 las variables que se presentaron de forma directa e indirecta en el proceso de la molienda de cerdo y afectan los resultados de este trabajo.

**Tabla 1.** Variables importantes en el proceso.

Variables	Independientes	Dependientes	Constantes	No Constantes
Origen y tipo de Maíz	X		X	
Tamaño de Partícula		X		x
Contenido de Humedad		X		x
Velocidad de alimentación	X		X	

## 1.6 Hipótesis

### 1.6.1 Hipótesis alternativa ( $H_a$ )

Existe variación significativa en la granulometría de la molienda de cerdo relacionada con las variaciones en la procedencia, del maíz utilizado, porcentaje de humedad de las harinas en proceso y parámetros de control del proceso.

### 1.6.2 Hipótesis nula ( $H_0$ )

No existe variación significativa en la granulometría de la molienda de cerdo con las variaciones en la procedencia, del maíz utilizado, porcentaje de humedad de las harinas en proceso y parámetros de control del proceso.

## 1.7 Justificación del Proyecto

La granulometría de los ingredientes de los alimentos balanceados tiene influencia sobre aspectos relevantes de la nutrición de los animales, entre ellos: el estímulo al consumo del pienso, la uniformidad del mismo, la digestibilidad de los nutrientes, el costo de la molienda y el desempeño de los animales.

Aunque no exista unanimidad entre los investigadores en relación con la granulometría ideal de los piensos para las diferentes especies, la comprensión de la inter-relación granulometría, nutrición animal y producción del alimento balanceado mostrando los resultados económicos del gerenciamiento, es más una herramienta donde podemos y debemos intervenir para optimizar el costo de la producción animal.

Una forma de reducir los costos de producción de raciones es a través de una evaluación del grado de molido de los ingredientes, en este caso el grano de maíz permitiendo así, escoger la granulometría que proporcione el mejor aprovechamiento de los nutrientes, asociado a la economía de energía eléctrica y mejoramiento del rendimiento de molido en función del aumento del diámetro de las mallas de la criba del molino.

La finalidad de dicho proyecto es evaluar el comportamiento de la granulometría que se obtienen en la molienda de maíz amarillo, para poder intervenir y corregir la necesidad que se presenta en la empresa, logrando una molienda optima en el alimento de cerdo.

## 1.8 Limitaciones y Alcances

Las limitaciones que se tienen es que los micrones que se pretenden alcanzar generarían mayor costo y menor rendimiento. Pero hasta el momento se podía decir que más que una implementación es una propuesta, la cual aún tienen que realizar una serie de pasos para poder mantener esta molienda y solventar las necesidades de la empresa.

Este trabajo es de gran impacto para la empresa porque al realizar una molienda de acuerdo al tamaño de partícula que se requiere se estaría alcanzando uno de los objetivos, de alimentar a los cerdos de una manera eficiente, y así aprovechar los nutrientes que los animales necesitan para un sano desarrollo. El alcance que se tiene es que la planta cuenta con los equipos necesarios para una molienda eficiente, un molino de martillos con 200 PH, capaz de moler más de 200 toneladas en un turno, así como también el personal capacitado para llevar a cabo dicha molienda.



## 1.9 La Empresa Agroindustrias de Córdoba S.A de C.V.

Agroindustrias de Córdoba ubicada en la desviación a Omealca Km 0+450 de la carretera federal Yanga, una Macroempresa familiar de capital 100% mexicano, perteneciente al sector agropecuario, nace el 3 de abril del 2010 con el objetivo de criar y comercializar cerdo en pie, pollo en pie y procesado, expandiendo su mercado a la elaboración de alimento para cerdo y pollo. Con una visión a futuro, la empresa en conjunto pondrá en marcha proyectos en los que se incluye el desarrollo de un sistema HACCP, tomando como base la realización de los requisitos previos. El impacto de esta empresa es de importancia, ya que provee de una de las principales materias primas a pequeñas y medianas empresas y/o particulares dedicadas a la crianza de animales y la generación de empleo.

Agroindustrias de Córdoba S.A de C.V es una empresa que tiene una línea de producción de alimento balanceado para ave y cerdo, en la cual elaboran diferentes fases de alimento para las diversas etapas que tienen los animales. Los alimentos que se elaboran para las aves son 4 fases, esto es de acuerdo a que cada etapa de las aves requiere de diferentes nutrientes.

De igual manera que el alimento para aves, los cerdos necesitan otro tipo de alimentación cuidando que los cerdos crezcan con un buen peso y sin mucha grasa dorsal también ellos requieren de un alimento según sea su etapa las, en la planta se elaboran 10 fases de acuerdo a los pesos de los cerdos.

También se elabora un alimento especial para las aves reproductoras en donde se manejan 6 tipos de alimentos.



### **1.9.1 Estructura organizacional de Agroindustrias de Córdoba.**

Toda organización privada o pública, debe contar con políticas, estrategias, procedimientos y normas para su desenvolvimiento, desarrollo normal de sus actividades cotidianas, de acuerdo a su tamaño y giro, varían en el grado en el que se le da autonomía a la gente y las distintas unidades que la conforman.

### **1.9.2 Misión**

Producir y comercializar productos agropecuarios para todos nuestros clientes actuales y potenciales, cumpliendo las expectativas de calidad, nutrición y servicio, respetando al bienestar animal, buscando ser una empresa socialmente responsable desarrollando colaboradores profesionales.

### **1.9.3 Visión**

Ser la mejor opción en la oferta de productos agropecuarios con servicio de apoyo y de soporte con enfoque a la satisfacción de nuestros clientes, ampliando día a día, nuestra presencia en el mercado lográndolo mediante procesos enfocados en la mejora continua y la transparencia impulsada por el talento de nuestra gente.



### 1.9.4 Objetivos

1. Disminuir los costos de mala calidad en todos los procesos operativos y aumentar los beneficios económicos de la empresa.
2. Garantizar a nuestros consumidores productos y servicios de alta calidad gracias a nuestros controles.
3. Fortalecimiento continuo de nuestros procesos a través de la Gestión de sistemas de trabajo basado en mejores prácticas y de nuevas herramientas tecnológicas.
4. Desarrollar al talento humano competente evaluado y consolidando sus habilidades y conocimientos sobre la base de objetivos y procesos establecidos.
5. Aplicar el marco legal vigente adecuado al giro de la empresa.
  - a. Con enfoque de respeto al medio ambiente
  - b. Cumpliendo con el cuidado y salud de las personas
6. Establecer los medios de comunicación que cumpla a las partes interesadas internas y externas de la organización
7. Promover la cultura de identificación y gestión de los riesgos asociados con todas operaciones de Agroindustrias de Córdoba.



## 1.9.5 Valores

### Valores estructurales

Son aquellos que son la base indispensable del cambio hacia una Nueva Cultura de Trabajo. Se enfocan a eliminar las áreas de oportunidad de la actual cultura de trabajo: Sustentan a los Valores de perspectiva de Negocio.

**Honestidad.** Con nuestro compromiso, porque somos congruentes entre el decir y el hacer y siempre actuamos con honestidad ante Nuestra Empresa, Clientes, Proveedores, Compañeros de trabajo, Superiores y Público en general. Compromiso. Estamos comprometidos:

- Con nuestro trabajo el cual realizamos con pasión.
- Con el Cliente a quien ofrecemos nuestro esfuerzo y dedicación.
- Con la empresa a la que cuidamos y defendemos
- Con uno mismo, porque buscamos nuestro desarrollo profesional y personal.

**Respeto.** En AGROINDUSTRIAS somos un gran equipo de trabajo que reconoce las diferentes ideas y opiniones diferentes de todos los que conformamos la organización, evitamos la discriminación en cualquiera de sus representaciones. Porque somos una familia en movimiento, somos un equipo ágil.

### Valores de perspectiva de negocio

Son aquellos que alinean el personal al cumplimiento de la Misión, Visión y de los objetivos de negocio:



**Calidad.** Nos esforzamos en hacer bien las cosas desde la primera vez y nos comprometemos con la mejora continua de nuestros métodos, procesos y sistemas. Nuestro propósito central es ir más allá de lo que el cliente pide y exceder sus expectativas.

**Confianza.** Buscamos de manera permanente la comunicación efectiva dentro de la Empresa y entre cada uno de los colaboradores, porque creemos que es importante confiar en nosotros mismos como equipo de trabajo.

**Innovación.** Estamos trabajando para mantenernos a la vanguardia tecnológica. A través de la integración de tecnología y la capacitación del equipo de trabajo. Nos enfocamos a generar diferentes soluciones efectivas para nuestros clientes, lo cual permite la creación de nuevas alternativas de negocio.

### 1.9.6 Organigrama

Las organizaciones son entes complejos que requieren un ordenamiento jerárquico que especifique la función que cada uno debe ejecutar en la empresa.

Por ello la funcionalidad de ésta, recae en la buena estructuración del organigrama, el cual indica la línea de autoridad y responsabilidad, así como también los canales de comunicación y supervisión que acoplan las diversas partes de un componente organizacional.

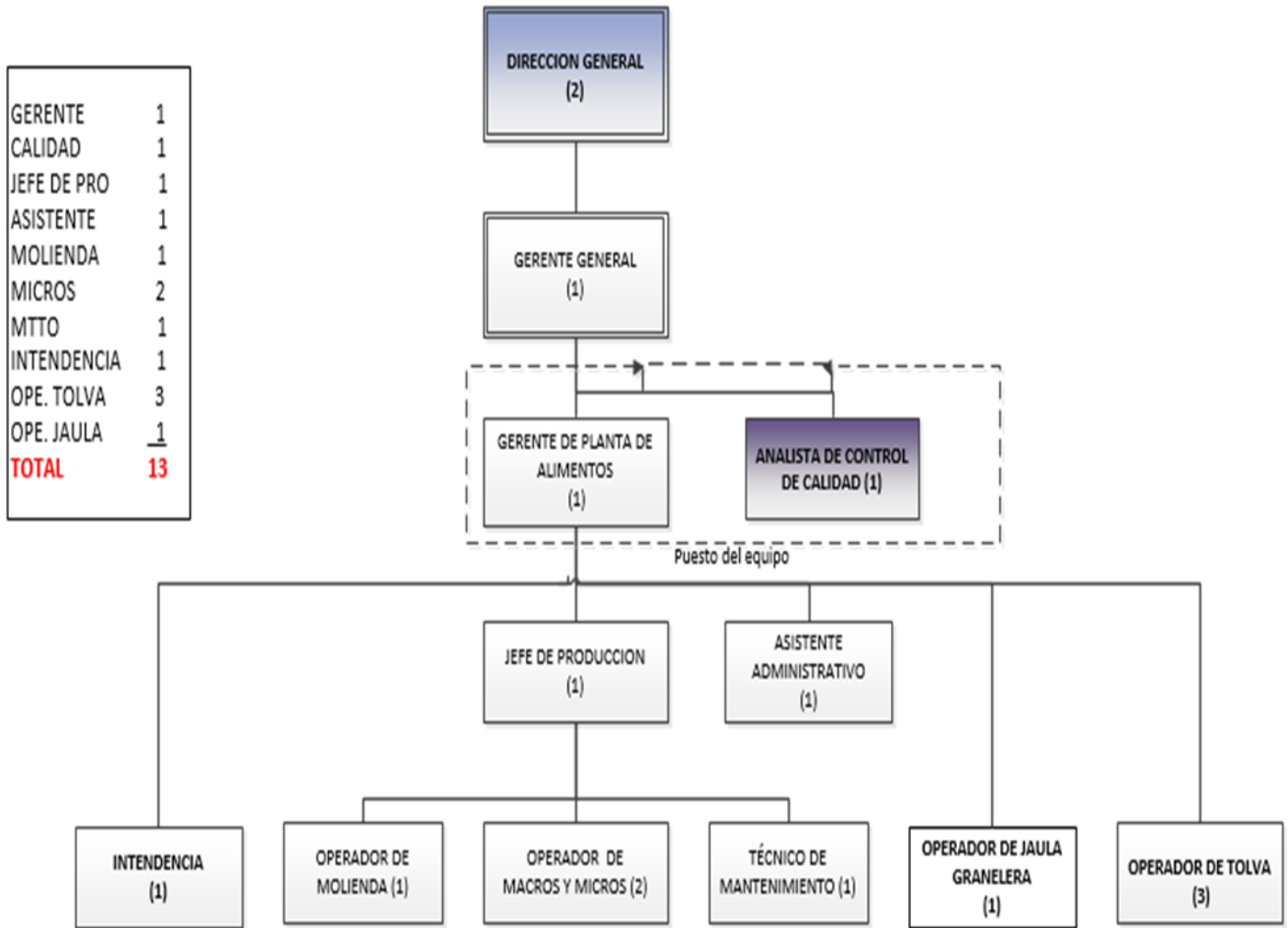
La finalidad de este es reflejar los diversos tipos de trabajo, especializados o no, que se realizan en la empresa debidamente asignados por área de responsabilidad o función. Como se muestra en la figura 8.





# AGROINDUSTRIAS DE CORDOBA SA DE CV

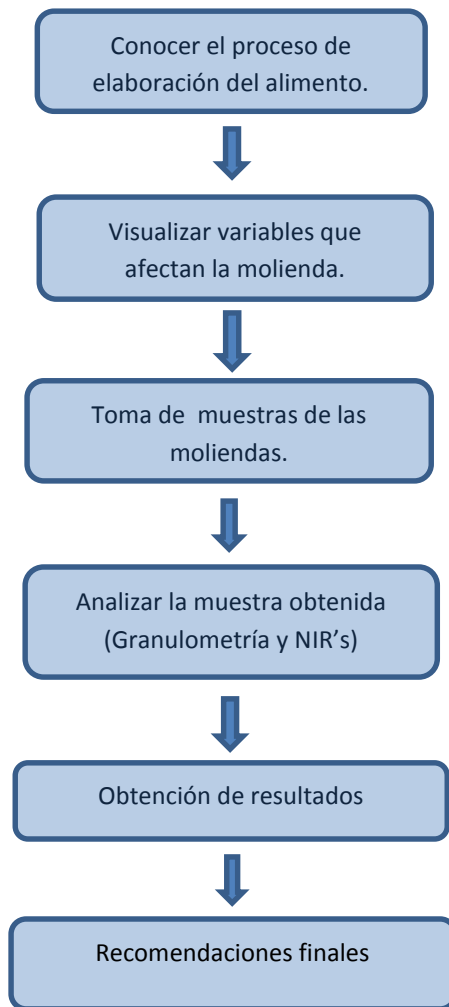
## PLANTA DE ALIMENTOS YANGA



**Figura 8.** Estructura organizacional de la empresa Agroindustrias de Córdoba S.A de C.V.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

A continuación se muestra el diagrama de proceso que se llevó a cabo para la evaluación del tamaño de partícula en la molienda de cerdo.



**Figura 9.** Diagrama de proceso para la evaluación del tamaño de partícula.

## 2.1 Proceso de elaboración del alimento balanceado

A continuación se muestra el diagrama de proceso de producción para la elaboración de alimentos balanceados para ave y cerdo.

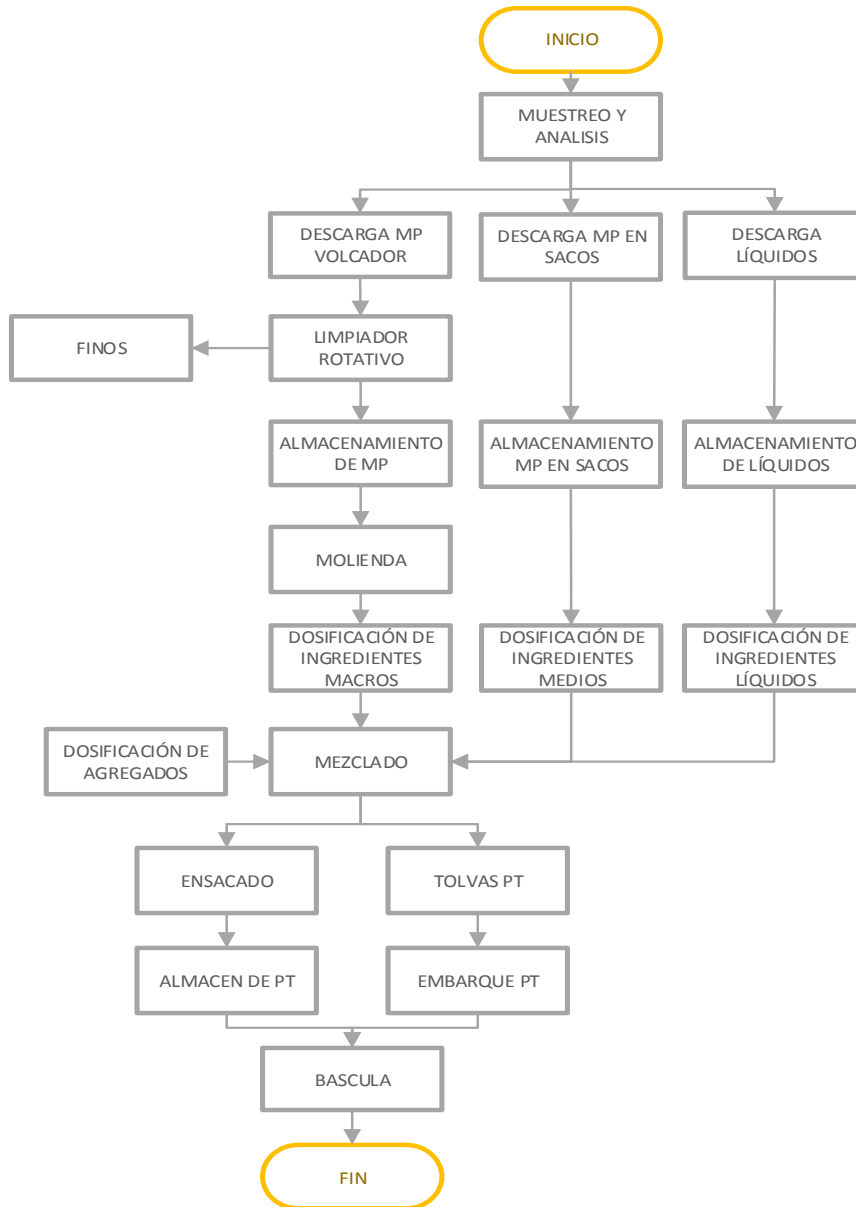


Figura 10. Diagrama de proceso de producción de alimento balanceado.



## 2.1.2 Descripción del proceso de producción

### 2.1.3 Recepción de materia prima

En el área de producción se recibe la materia prima las cuales son: maíz amarillo, salvado, pasta de soya, harina de carne y hueso, pre mezclas, orto fosfato, calcio gritt, calcio grueso, calcio fino, sal, aceite de soya, pigmento, lisina, metionina, etc. Según sean los ingredientes para el alimento a elaborar.

### 2.1.4 Muestreo

Se realiza el muestreo aleatorio a cada materia prima para verificar que cumple con las especificaciones que se tienen dentro del laboratorio y así poder saber que es de buena calidad.

### 2.1.5 Análisis

#### Análisis en equipo NIR's Foss

La muestra a analizar se lleva cabo mediante un espectrofotómetro NIR's, para verificar que se cumpla con los parámetros requeridos para la elaboración del alimento. Los resultados que arroja el NIR's Foss son:

- Proteína
- Potasio
- Calcio
- Sodio
- Grasa
- Humedad
- Cenizas

En la molienda nos es de gran interés conocer la humedad de la materia prima (maíz amarillo) con la que entra al molino y la humedad con la que sale la molienda para ver cómo afecta el tamaño de partícula.

### **2.1.6 Almacenamiento de Materia Prima**

El almacenamiento de materia primas, en el caso de envases en sacos, se hacen en almacén o bien se vierten en la tolva de recepción para su almacenamiento en silos. Las materias primas a granel sean solidas o liquidas se almacenan en silos o depósitos.

Por lo general, los granos (maíz amarillo) son sometidos a un almacenamiento en naves o silos durante periodos relativamente no muy largos antes de su utilización. Para que el grano se mantenga en condiciones óptimas durante su almacenamiento es importante que se encuentre lo más limpio y seco posible. Son tres los factores que se han de controlar durante esta fase: la humedad, el tiempo y la temperatura del almacenamiento.

El contenido en humedad del maíz, además de ser importante desde el punto de vista económico, es el factor que más influye en su almacenamiento seguro. Un pequeño aumento en el nivel de humedad puede desencadenar el deterioro del maíz almacenado.

### 2.1.7 Molienda

El proceso de molienda se desarrolla por fases, y en cada una se produce un "triturado" compuesto por una mezcla de partículas de diversos tamaños, que pasan a un juego de tamices mediante el cual las partículas se separan en fracciones, según su diámetro. De este modo, se obtienen fracciones de diferente composición.

Cada fase de molienda da lugar a una porción de harina (las partículas de menor tamaño) y a una porción de partículas de mayor tamaño. De entre estas últimas, las partículas con posibilidad de dar harina pasarán a la fase de molienda siguiente, el resto se eliminan como subproducto.

Es el primer procesamiento que sufren las materias primas en la elaboración de alimento balanceado. Con el molino se pretende conseguir las granulometrías adecuadas de las partículas en tamaño y forma según la presentación del alimento balanceado. Harina o granulo.

La molienda se comienza con la materia prima en este caso es el maíz amarillo, hay que tener mucho cuidado porque para cada alimento se requiere una molienda diferente, por ejemplo para la molienda de cerdo se utilizan las mallas 2.5mm y 4mm para obtener una molienda más fina y así alcanzar los micrones que se requieran para dicha molienda.



### 2.1.8 Visualización de variables que afectan la molienda

Para poder visualizar las variables que afectan a la molienda, lo primero que se hizo fue conocer el área de la molienda y el molino que utilizan en la planta en este caso es un molino de martillos con una potencia de aproximadamente (200 PH).

También se le pregunto al personal encargado de esa área cuales son las variables que se pueden controlar y cómo afecta la molienda.

Las variables que encontramos fueron las siguientes:

Tamaño de las cribas: las cribas o mallas que se utilizan para la molienda de cerdo son de 2.5 y 4 mm, conocer este dato es muy importante porque el tamaño de malla es el que nos define la granulometría de la molienda fina.

Abertura del alimentador: la abertura del alimentador en el molino también es un factor importante, ya que podemos observar el flujo de materia prima que se está moliendo, en este caso el maíz amarillo.

La humedad: la humedad es un factor importante, ya que esta puede facilitar o complicar la molienda, pero lamentablemente es una variable que no se puede controlar, pero no debe alcanzar una humedad mayor a 15%.

Para la obtención de las variables antes expuestas se supervisó diariamente el área de producción y se conoció el proceso que se lleva a cabo en la planta.

### **2.1.9 Toma de muestra de las moliendas de maíz amarillo**

Al inicio de la molienda se tomó una muestra de grano de maíz para obtener la humedad con la cual está entrando la molienda, así como también de maíz molido, esta muestra se lleva al laboratorio, se le coloca un # de ID como identificación. A la molienda se le realizan análisis físicos (granulometría) y el de humedad en el equipo (NIR's Foss).

### **2.1.10 Análisis de las muestras obtenidas**

Al obtener las muestras se llevan a cabo los siguientes análisis:

### **2.1.11 Análisis físico (Granulometría)**

Por granulometría o análisis granulométrico de un agregado se entenderá todo procedimiento manual o mecánico por medio del cual se pueda separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total.

Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan como acumulados, en cada malla, ya que con esto se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría). Este análisis granulométrico es de gran importancia para la molienda, porque por medio de ella se observa el comportamiento de las moliendas.

### 2.1.12 Análisis en el equipo NIR's Foss.

El objetivo de este análisis es la obtención de humedad del maíz al entrar al molino y de la molienda final. Para obtener dicho resultado se realiza lo siguiente:

Utilizando el equipo NIR's, se coloca la muestra de la molienda o el grano de maíz en la cubeta de cristal la cual debe estar bien homogeneizada, se coloca la cubeta en el equipo y se cierra la tapa. El equipo analiza la muestra para la obtención de humedad.



Figura 11



Figura 12



Figura 13

**Figura 11.** Equipo NIR's. **Figura 12.** Maíz amarillo. **Figura 13.** Maíz molido.

## CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo se dará a conocer paso por paso el método que se lleva a cabo para realizar la granulometría de la molienda y la obtención de micrones. Los métodos para expresar el tamaño de partícula dependen del instrumento de medición utilizado, uno de los más comunes es el tamiz convencional. En este caso, los sólidos particulado se colocan en la parte superior de una serie de mallas, las cuales tienen aberturas pequeñas que van disminuyendo de tamaño y al vibrar las partículas caen a través de ellas hasta alcanzar un tamiz en el que las aberturas son demasiado pequeñas para que pase la partícula. El tamaño de las mismas se expresa como una longitud media apropiada entre las aberturas del tamiz anterior y el que retiene la partícula. Los tamices convencionales son la serie Tyler y/o la serie U.S. (Foust, 1993).

### 3.1 Materiales

1 Agitador

2 grupos de tamices (8,10,12,16,20,30,35) y (40,50,70,100,140,270)

PAN (parte inferior)

Tapa

Aire comprimido o brochas

1 bandeja con capacidad de 1 k.

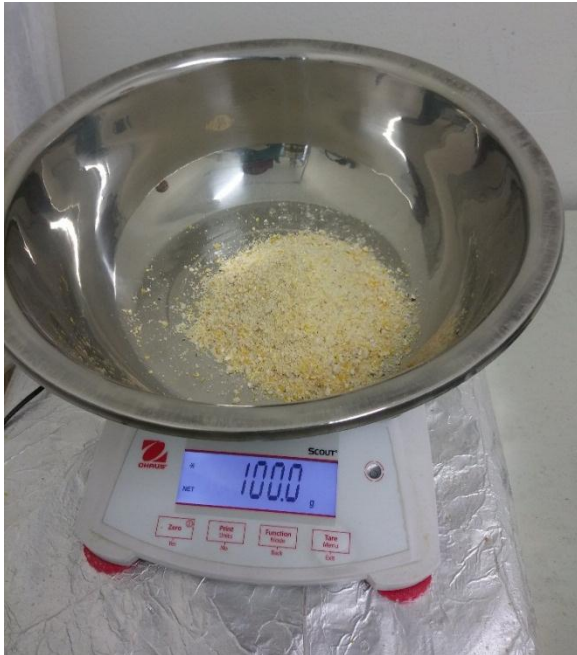
Balanza analítica

100g de muestra (maíz molido)



### 3.2 Método

El análisis granulométrico por tamizado consiste en cernir una muestra de molienda a través de un juego de tamices estandarizados, y en determinar el porcentaje de masa acumulado en cada uno de estos respecto a la masa de la muestra inicial. Se pesan 100 gr de la muestra (maíz molido).



**Figura 14.** 100g de muestra y brochas para limpiar las mallas.

A continuación se deposita el material en la malla superior del juego de tamices el cual lo dividimos en dos partes la primera es 8,12,16,20,30,35 y la segunda 40,50,70,100,140,270 los que deberán encontrarse limpios y ordenados en forma decreciente. El juego deberá contar con una tapa en la parte superior y el PAN una bandeja de residuos en la parte inferior. Como se muestra en la figura 15.





**Figura 15.** Juego de tamices

El tiempo de tamizado de la muestra se elige empíricamente respecto a la muestra sometida a estudio. Se hace vibrar el conjunto durante 20 minutos, tiempo después del cual se retira del vibrador y se registra el peso del material retenido en cada tamiz. Como se muestra en la figura 16.



**Figura 16.** Retención de muestra en las mallas

Los resultados que se obtienen de cada malla se capturan en la tabla de cálculo, posteriormente se arroja el resultado de los micrones con la que está saliendo la molienda, como se ve en la siguiente tabla 1 cálculo de micrones, muestra retenida en cada malla. Ver en anexos.

### 3.3 Calculo de micrones

Para el cálculo de micrones se necesitan los siguientes datos: Conocer el número de mallas de todos los tamices a ocupar y su equivalencia en micras, como se observa en la siguiente tabla. Ver en anexos.

Después se calcula el logaritmo con la fórmula:  $N \cdot \log di ((\#6 * \#8))$

Donde:

**N**= la constante = 0.5

**#6**= número de la primera malla

**#8**= número de la segunda malla

El valor obtenido por este cálculo se le multiplica al valor de la siguiente malla en este caso será la malla #10, esto se realiza con todas las mallas al final se obtendrá la sumatoria de todas las mallas Posteriormente se realiza otra operación para el cálculo de diámetro de micrones, con la siguiente formula:  $(\log di * malla \#6) (\log di * malla \# 8) \dots$

Esto quiere decir, que el logaritmo se multiplica por el peso retenido en cada malla, y esta operación se realizara con todas las mallas para obtener la sumatoria.

Por último se utiliza el siguiente calculo =  $10^{\sum \text{weight} * \log di / \sum \text{mallas}}$  = micrones de la molienda.

Ver tabla 4 en anexos.



# CAPÍTULO 4. RESULTADOS

## 4.1 Resultados

## 4.2 Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos por parte del software Minitab versión 17, muestra el comportamiento de los datos que se evaluaron, las cuales fueron 50 muestras de humedad y 50 de tamaño de partícula (micrones), en donde se realizó un análisis de varianza.

A través de la evaluación granulométrica que se realizó con cada muestra de molienda de cerdo, se utilizó datos de 3 meses de producción, las cuales se les determinó la humedad en el equipo NIR's Foss, y el análisis granulométrico respetando los parámetros de control establecidos en la empresa de Agroindustrias. Las especificaciones de la granulometría es muy importante porque deben cumplir con ciertas características, por lo que es de gran importancia la relación entre la granulometría de la harina, en la molienda de cerdo como la humedad de la misma.

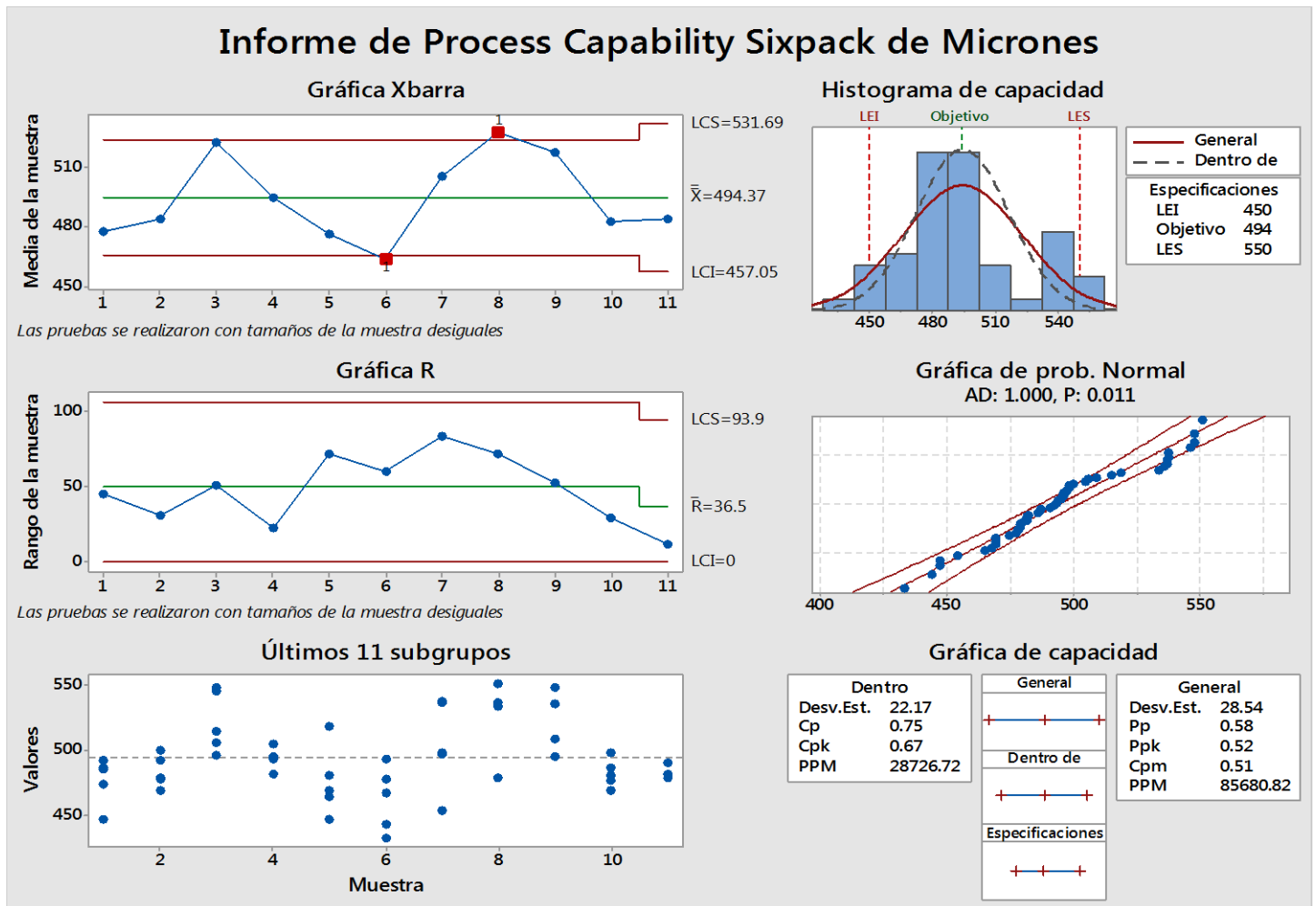
En la siguiente imagen se muestran diferentes cartas de control con datos de los micrones obtenidos durante los últimos 3 meses, estas nos representan la capacidad de procesos que tiene la empresa, es decir si se está realizando la molienda adecuada para el consumo de los cerdos.

En la primera grafica X barra se muestra el límite superior con 531.69 , y el límite inferior 457.05 las cuales nos muestra que se encuentran dentro del rango establecido de acuerdo a las especificaciones de la empresa.

En la gráfica R se puede notar que no hay ningún punto fuera de control, en la gráfica de subgrupos nos muestra cómo están distribuidos los puntos dentro de la gráfica X y la gráfica R, podemos notar que no hay ninguna tendencia o un cambio brusco.



En la gráfica de probabilidad normal, los puntos azules nos muestra el nivel de confianza que existe al 95% lo cual indica que se comportarían de manera normal. También se observa un histograma la cual nos indica unos límites inferiores de 450 y los límites superiores de 550, nos indica que nuestros datos están variando, pero que se encuentra dentro los límites establecidos.



**Figura 17.** Informe de capacidad de proceso

### 4.3 Conclusión

El análisis y comparación de granulometrías de la molienda de cerdo determinó que la humedad de la harina es la que afecta a la granulometría del subproducto creando variaciones. El índice de capacidad de proceso para la molienda demostró que la media de las granulometrías cumple con especificaciones, aunque parte de los datos se encuentran fuera de especificación causando variaciones.

La humedad siguió un comportamiento estable en cada mes que fue evaluado, presentando variaciones mínimas. Para seguir con un comportamiento estable de humedad es necesario que al recibir la materia prima en este caso el maíz amarillo, se tenga mucho cuidado que cumpla con la especificaciones cuidando que la humedad no se eleve, sino al contrario si es necesario lo mejor sería que el maíz llegue con un menor porcentaje humedad de lo acostumbrado para ganar mayor eficiencia en la molienda y así obtener micrones más bajos.

En cuanto a la técnica de granulometría se hizo un ajuste de tiempo en el agitador, para obtener mejores resultados, como se observa en la figura 15.

Las aportaciones que se emplearon en este trabajo realizado fueron de acuerdo a la norma MNX-Y-357-SCF-2011 productos para uso agropecuario y consumo animal.

Se acepta la hipótesis alterna de este trabajo, al existir variaciones entre las granulometrías y variaciones por la humedad contenida en la molienda.

## **4.4 Trabajos Futuros**

Lo que se pretende realizar en la empresa Agroindustrias es una optimización en las diferentes moliendas que se produce, para mantener una molienda adecuada de acuerdo a sus necesidades y obtener productos con una alto estándar de calidad.

## **4.5 Recomendaciones**

### **4.5.1 Recomendaciones para el almacenamiento.**

Para favorecer la conservación del maíz durante el almacenamiento, es habitual que antes de su ingreso en las instalaciones de almacenamiento se someta a un proceso de PRELIMPIA, con objeto de eliminar las impurezas groseras que acompañan al maíz.

Este proceso tiene un efecto económico importante puesto que al quitar estas impurezas se deja un mayor espacio para el almacenamiento de mayor cantidad de maíz; un efecto positivo sobre el proceso ya que el maíz limpio fluye y se mezcla mejor; y, en tercer lugar, pero no menos importante, se mejora su conservación.

#### 4.5.2 Recomendaciones para granulometría

Al usar el equipo de tamizado se debe tener precaución en el manejo del material y de no sobrepasar los límites de operación del tamizador pues el variar se puede afectar junto con el motor, recomendándose operar a un máximo del 80% del variar.

##### Recomendaciones

1. Registrar los números de mallas de los tamices utilizados.
2. Registrar los tiempos de molienda y tamizado para cada muestra.
3. Al tomar la muestra para alimentarla al tamizador, asegúrese que sea representativa.
4. Rectificar el orden de las mallas.
5. procurar que todas las mallas sean de la misma línea (Tyler) para que no haya mucha variabilidad.

##### Reportar

1. Peso del material retenido en cada malla.
2. Fracción retenida en cada malla (material retenido/material que llega a la malla).
3. Diámetro promedio de partícula.
4. Gráficas de la fracción de masa acumulada a través de los tamices vs. Abertura de la malla.
5. Gráfica de la fracción acumulada vs. Diámetro medio.

Al observar la dispersión de los datos de los distintos análisis realizados, se recomienda realizar una evaluación de resultados para reducir el rango de los parámetros de especificación.

Hacer relaciones entre la granulometría y análisis físico químico de laboratorio a la materia prima, para identificar características en la materia prima que afecten la granulometría final.



## 5 ANEXOS

### Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Los datos obtenidos se mezclarán con datos guardados en el sistema de recopilación de datos internos de la empresa, ingresados por auxiliares de laboratorio, para tener una muestra más representativa. Adicionalmente se evaluarán los datos de distintos meses, para observar variaciones presentadas al cambiar procedencia del grano de origen, parámetros de control del proceso e identificar causas y relaciones en la variación de granulometría de la molienda. La determinación de la magnitud de las variables se realizará conforme a los métodos utilizados por la empresa, ya que utilizan métodos rápidos para el control del proceso y de la calidad.

### Formularios de registros

**Tabla 2.** Calculo de micrones, muestra retenida en cada malla

Granulometría	
FECHA	13.03.18
HORA	7:33 A.M
CRIBAS	2.5 Y 4MM
GIRO	DERECHO
TIPO DE MOLIENDA	CERDO
M-8	0
M-10	0.2
M-12	0.4
M-16	5.1
M-20	12.8
M-30	20.4
M-35	2.2
M-40	0
M-50	19
M-70	32.8
M-100	6.4
M-140	0.5
M-270	0
PAN	0
SUMATORIA	99.8
MICRONES	433



**Tabla 3.** Número de mallas y su equivalencia en micrones

# malla	Micrones
8	2380
10	2000
12	1680
16	1191
20	841
30	594
35	500
40	420
50	297
70	212
100	150
140	103
270	53
PAN	37

**Tabla 4.** Resultado de operaciones para la obtención de micrones.

Log di	Weight* log di
3.53	0.00
3.34	0.67
3.26	1.31
3.15	16.07
3.00	38.40
2.85	58.13
2.74	6.02
2.66	0.00
2.55	48.41
2.40	78.71
2.25	14.41
2.09	1.05
1.87	0.00
1.65	0.00
37.33	263.16

### Análisis estadístico

Los cálculos estadísticos que se realizaron una vez se hayan terminado de registrar los datos de los análisis a realizar, pertenecen a los siguientes grupos de pruebas.

- Medidas de dispersión
- Regresión
- Índice de capacidad de proceso

## Desviación estándar

Esta medida permite determinar el promedio aritmético de fluctuación de los datos respecto de la media. La desviación estándar da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar basta con hallar la raíz cuadrada de la varianza, por lo tanto la ecuación es:

$$S = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1} = \sqrt{S^2}$$

## Varianza

Permite identificar la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto de su punto central (media). Este promedio es calculado, elevando cada una de las diferencias al cuadrado, y calculando su promedio o media; y dividiendo este resultado por el número de observaciones que se tengan.

A continuación su forma de cálculo para una muestra:

$$S^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$



## Índice de la capacidad de proceso

Se utiliza cuando se necesita determinar si el proceso, dada su variación natural, es capaz de satisfacer las especificaciones establecidas. Los índices de capacidad permiten situar la distribución del proceso en relación a los límites de especificación.

El Cpk sirve para medir no solo la variación del proceso en relación a la especificación permitida sino además la ubicación del promedio del proceso.

$$Cpk = \min \left[ \frac{TS - \hat{\mu}}{3 \times \sigma}, \frac{\hat{\mu} - TI}{3 \times \sigma} \right]$$

Donde:

Cpk= índice de capacidad de proceso

TS= límite superior de especificaciones

TI= límite inferior de especificación

$\sigma$  = desviación estándar de los datos muestrales

$\hat{\mu}$  = media los datos muestrales.



## 7 BIBLIOGRAFÍA

Brenan J.G. (1998). Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Cap. 4. En: Reducción de tamaño y Tamizado de los sólidos. Ed. Acribia. España. 2da Edición. 61-83

Brown, G.C. ET. al.; (1955). "Operaciones Básicas de la Ingeniería Química"; 1a. Ed. Editorial Marín, S. A.; Barcelona pp. 9-50.

CAFAGDA. 1997. Cámara Argentina de Fabricantes de Almidón, Glucosa, Derivados y Afines. Informe de: actividades, situación actual y perspectivas. s. n. t. 30 p.

CIRILO, A. G. Y ANDRADE, F. H. 1998. Maíz. En: Calidad de Productos Agrícolas. Bases eco fisiológicas, genéticas y de manejo agronómico. Aguirrezábal, L. A. N. y Andrade, F. H., eds. Unidad Integrada Balcarce. p. 76-136.

Earle, .L. Ingeniería de los alimentos, las operaciones básicas aplicadas a la tecnología de los alimentos. Cap. 8. En: Reducción de tamaños. Ed. Acribia. España. 277-290

Fellows, P. (1994). Tecnología del procesado de los alimentos, principios y prácticas. Cap. 3. En: Reducción de tamaño. Ed. Acribia. España. 73-94

NIELSEN, K. (1994) Rolled wheates an aid to avoiding stomach problems in pigs. Feed Mix, n.2, p. 16-19

NIR, I.; HILLEL, R., SHEFET, G. et al. (1994) Effect of particle size performance. 2. Grain texture interactions. Poultry Science, v.73, n.6, p.781-791

SPRAGUE, G. F. Y DUDLEY, J. W. 1988. Corn and Corn Improvement. American Society of America, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.



Financiera rural. Monografía de los subproductos de la molienda de maíz. <http://www.financierarural.gob.mx/informacionsectorrural/Documents/Monografias/Monograf%C3%ADaMa%C3%ADzSubprod%28nov2011%29vf.pdf>. Consulta: 5 de enero de 2015.

PAGNACCO, Silvio. (2007) Molienda seca de maíz. [http://losmolinos.beltres.com.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=470:moliendaecademaiz&catid=109:molineria&Itemid=1053](http://losmolinos.beltres.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=470:moliendaecademaiz&catid=109:molineria&Itemid=1053). Consulta: 20 de enero del 2015.

PAGNACCO, Silvio. (2007) Molienda seca de maíz. [http://losmolinos.beltres.com.ar/index.php?option=com\\_content&view=article&id=470:moliendasecademaiz&catid=109:molineria&Itemid=1053](http://losmolinos.beltres.com.ar/index.php?option=com_content&view=article&id=470:moliendasecademaiz&catid=109:molineria&Itemid=1053). Consulta: 20 de enero del 2015.

MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. (2002) Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 1056.

MCCABE, Warren; SMITH, Julian; HARRIOT, Peter. Operaciones unitarias en ingeniería química. p. 1064.