



## **Cuadernos de Investigación**

# **INDUSTRIALIZACIÓN DE LA RIQUEZA VEGETAL: OPORTUNIDADES SOCIALES Y ECONÓMICAS**

**JORGE E. DEVIA PINEDA, Ph.D.**

**ELIZABETH OCAMPO C., I. P.**

**LUIS ALEJANDRO BETANCUR G., I. P.**

**JULIANA HERNÁNDEZ G., I. P.**

**JULIANA ZAPATA N., I. P.**

**JULIANA BOTERO R., I. P.**

**ANA LUCÍA CARMONA C., I. P.**

**Grupo de Investigación DESARROLLO Y DISEÑO DE PROCESOS –DDP–  
Departamento de Ingeniería de Procesos  
Universidad EAFIT**

La Universidad EAFIT aspira a ser reconocida nacional e internacionalmente por sus logros académicos e investigativos.

Para ello desarrolla la capacidad intelectual de sus alumnos y profesores en todos los programas académicos, con la investigación como soporte básico.

-De la visión institucional-

### **Edición**

Dirección de Investigación y Docencia  
Universidad EAFIT  
Medellín, Colombia

### **Director**

Félix Londoño González

---

Los contenidos de este documento son responsabilidad de los autores.

Se autoriza la reproducción total o parcial de este material para fines educativos siempre y cuando se cite la fuente.

### **Serie Cuadernos de Investigación**

Carrera 49 7 sur 50

Teléfono (574) 261 95 40

[www.eafit.edu.co/investigacion](http://www.eafit.edu.co/investigacion)

# TABLA DE CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN, ABSTRACT, AUTORES .....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>DISEÑO CONCEPTUAL PARA EL PROCESO PARA LA DESHIDRATACIÓN DE PAPA ..</b>	<b>13</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	14
1.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO .....	14
1.2.1 Tendencias del Mercado .....	14
1.2.2 Identificación de los Factores de Calidad .....	16
1.3 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO.....	17
1.3.1 Ensayos preliminares.....	18
1.3.2 Diseño de Experimentos.....	20
1.3.3 Secado en tajadas .....	21
1.3.4 Secado en lámina .....	23
1.3.5 Análisis de resultados .....	25
1.4 EVALUACIÓN DEL PRODUCTO.....	31
1.4.1 Descripción del Producto obtenido .....	32
1.4.2 Características finales del Producto .....	35
1.5 EVALUACIÓN DEL PROCESO .....	37
1.5.1 Diseño del Proceso.....	37
1.5.2 Evaluación Técnica del Proceso.....	38
1.5.3 Secadores solares .....	38
1.5.4 Secadores de tambor.....	38
1.5.5 Secadores de tubos con vapor .....	38
1.5.6 Secadores de bandejas .....	38
1.5.7 Secadores flash .....	39
1.5.8 Equipo seleccionado.....	39
1.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR.....	40
1.6.1 Factores económicos del Proceso.....	40
1.6.2 Resultados económicos.....	43
1.7 CONCLUSIONES .....	45

## CAPÍTULO II

### DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENER HARINA A PARTIR DE LA OCARA DE SOYA

2.1 ANTECEDENTES.....	47
2.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO .....	48
2.2.1 Tendencias del Mercado .....	48
2.2.2 Identificación de los Factores de Calidad .....	49
2.3 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO.....	50
2.3.1 Ensayos preliminares.....	50
2.3.2 Diseño de Experimentos.....	52
2.3.3 Análisis de resultados .....	55
2.4 EVALUACIÓN DEL PROCESO .....	57
2.4.1 Filtración .....	57
2.4.2 Secado.....	57
2.4.3 Molienda y tamizado .....	57
2.4.4 Diseño del Proceso.....	57
2.5 Evaluación Técnica del Proceso.....	58
2.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR.....	64
2.7 CONCLUSIONES .....	66

### TABLAS

TABLA 1.1. PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PAPA (MILLONES DE TONELADAS) .....	15
TABLA 1.2. PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES Y CONSUMIDORES 2007.....	15
TABLA 1.3. ÁREA, PRODUCCIÓN, RENDIMIENTO Y CONSUMO DE LOS PRINCIPALES PAÍSES PRODUCTORES DE PAPA EN AMÉRICA LATINA, 2007 .....	16
TABLA 1.4. COMPOSICIÓN PROMEDIO DE UN TUBÉRCULO DE PAPA.....	17
TABLA 1.5. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS DOS VARIEDADES DE PAPA MÁS CULTIVADAS EN ANTIOQUIA.....	20
TABLA 1.6. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL 100G PAPA VARIEDAD DIACOL CAPIRO...	21
TABLA 1.7. HUMEDAD EN EL TIEMPO PARA PAPA DIACOL CAPIRO EN TAJADAS SOMETIDAS A SECADO.....	22
TABLA 1.8. HUMEDAD EN EL TIEMPO PARA PAPA ICA PURACÉ EN TAJADAS SOMETIDAS A SECADO.....	22
TABLA 1.9. HUMEDAD EN EL TIEMPO PARA PAPA DIACOL CAPIRO EN LÁMINA SOMETIDA A SECADO .....	23
TABLA 1.10. HUMEDAD EN EL TIEMPO PARA PAPA ICA PURACÉ EN LÁMINA SOMETIDA A SECADO .....	24

TABLA 1.11. HUMEDADES DE TAJADAS DE PAPA ANTES Y DESPUÉS DE ESCALDAR	26
TABLA 1.12. PÉRDIDA DE PESO PARA TRES REPETICIONES DE SECADO HASTA 105 MINUTOS .....	27
TABLA 1.13. HUMEDAD TOTAL EN BASE HÚMEDA Y EN BASE SECA PARA UN PESO PROMEDIO DE PAPA .....	28
TABLA 1.14. DATOS DE VELOCIDAD DE SECADO PROMEDIO .....	29
TABLA 1.15. RESULTADOS DE COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE CALOR EXPERIMENTAL Y EMPÍRICO .....	30
TABLA 1.16. RESULTADOS DE PORCENTAJES DE HUMEDAD RESPECTO AL TIEMPO DE SECADO.....	31
TABLA 1.17. TABLA ANOVA PARA HUMEDAD SEGÚN TIEMPO DE SECADO.....	31
TABLA 1.18. VARIEDADES DE PAPA EN COLOMBIA CON MAYOR APTITUD PARA PROCESAMIENTO INDUSTRIAL.....	32
TABLA 1.19. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE HARINA DE PAPA.....	33
TABLA 1.20. PORCENTAJES DE NUTRIENTES PRINCIPALES EN PAPA FRESCA Y EN HARINA DE PAPA .....	33
TABLA 1.21. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE HARINA DE PAPA .....	34
TABLA 1.22. RESULTADOS DE ACTIVIDAD DE AGUA .....	34
TABLA 1.23. CLASIFICACIÓN DE PAPA DE CONSUMO SEGÚN TAMAÑO.....	35
TABLA 1.24. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS Y USOS DE LOS PRODUCTOS DE LA PAPA DESHIDRATADA.....	36
TABLA 1.25. PRINCIPALES EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DESHIDRATADOS.....	37
TABLA 1.26. EXPOSICIÓN DEL SÓLIDO A CONDICIONES DE CALOR .....	39
TABLA 1.27. COSTO ANUAL DE MATERIAS PRIMAS.....	41
TABLA 1.28. COSTO ANUAL DEL MATERIAL DE EMPAQUE .....	41
TABLA 1.29. COSTO ANUAL DE MANO DE OBRA.....	41
TABLA 1.30. COSTO ANUAL DE SERVICIOS INDUSTRIALES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN .....	42
TABLA 1.31. COSTO DE CAPITAL INICIAL DE EQUIPOS.....	42
TABLA 1.32. COSTOS FIJOS ANUALES .....	43
TABLA 1.33. INGRESOS ANUALES POR VENTAS .....	43
TABLA 1.34. RESUMEN ECONÓMICO DEL PROYECTO BASE.....	44
TABLA 1.35. RESUMEN ECONÓMICO DEL PROYECTO EN CASO 1 .....	44
TABLA 1.36. RESUMEN ECONÓMICO DEL PROYECTO CASO 2 .....	44
TABLA 1.37. RESUMEN ECONÓMICO DEL PROYECTO CASO 3 .....	45
TABLA 2.1. VOLÚMENES DE PRODUCCIÓN Y DE IMPORTACIÓN DE SOYA (ARIAS L., 2008).....	49

TABLA 2.2.	COMPOSICIÓN DE LA HARINA DE TRIGO (BENNION, 1970; GÓMEZ, 1969)	49
TABLA 2.3.	CANTIDADES DE HARINA NECESARIAS PARA CADA MEZCLA.....	55
TABLA 2.4.	DATOS DEFINITIVOS DE FILTRACIÓN MANUAL .....	58
TABLA 2.5.	DATOS DEFINITIVOS DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO .....	60
TABLA 2.6.	RESULTADOS DEL PANEL SENSORIAL .....	61
TABLA 2.7.	ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO COMPARATIVO DE LAS DIFERENTES HARINAS	62
TABLA 2.8.	ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA HARINA DE OCARA .....	63
TABLA 2.9.	COSTO DE LOS EQUIPOS PARA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO .....	64
TABLA 2.10.	CONSUMO DE SERVICIOS INDUSTRIALES DE LOS EQUIPOS Y SU COSTO	65
TABLA 2.11.	REQUERIMIENTO Y COSTO DE LA MANO DE OBRA.....	66

## FIGURAS

FIGURA 1.1.	USO INTEGRAL DE LA PAPA.....	18
FIGURA 1.2.	DESHIDRATADOR EXCALIBUR 2900 .....	19
FIGURA 1.3.	COSTRA FORMADA DURANTE EL SECADO DE PAPA DIACOL CAPIRO EN FORMA DE LÁMINA.....	25
FIGURA 1.4.	CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL COMO FUNCIÓN DE TIEMPO DE SECADO .....	28
FIGURA 1.5.	CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO PROMEDIO.....	30
FIGURA 1.6.	SECADOR DE BANDEJAS .....	40
FIGURA 2.1.	OCARA DE SOYA RECIBIDA DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PAN (1 KG. APROX.) .....	52
FIGURA 2.2.	OCARA DE SOYA ANTES DE FILTRADO MANUAL (330 GR. APROX.).....	52
FIGURA 2.3.	OCARA DE SOYA DESPUÉS DE FILTRADO MANUAL (200 GR. APROX.)	52
FIGURA 2.4.	OCARA DE SOYA DISPUESTA EN LAS LÁMINAS DE POLIETILENO PARA LLEVAR AL DESHIDRATADOR DE ALIMENTOS (90 GR. APROX.)..	53
FIGURA 2.5.	LÁMINAS DE OCARA DE SOYA DISPUESTAS PARA INGRESAR AL DESHIDRATADOR DE ALIMENTOS.....	53
FIGURA 2.6.	HOJUELAS DE OCARA DE SOYA OBTENIDAS DEL SECADO.....	54
FIGURA 2.7.	HOJUELAS DE OCARA DE SOYA PREVIAS AL LICUADO .....	54
FIGURA 2.8.	OCARA DE SOYA DESPUÉS DEL LICUADO Y ANTES DE LA MOLIENDA	54
FIGURA 2.9.	RESULTADOS DEL PANEL SENSORIAL .....	56
FIGURA 2.10.	MOLINO DE DISCOS.....	58
FIGURA 2.11.	CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE HÚMEDA (PESO). ENSAYO 1 .....	59
FIGURA 2.12.	CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE HÚMEDA (PESO). ENSAYO 2 .....	59
FIGURA 2.13.	GRÁFICO DE RESULTADOS DEL PANEL SENSORIAL.....	62
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>69</b>

## **RESUMEN**

Las empresas enfrentan un importante desafío es esta economía globalizada, porque para sobrevivir tienen que ofrecer nuevos productos con valor agregado en los mercados internacionales. Para ello se requieren profesionales entrenados en las metodologías para el desarrollo de nuevos productos (DNP), y los egresados universitarios tienen que tener estas habilidades para que puedan contribuir a enfrentar esta situación. Junto con esto se requieren también productos innovadores de la mano con la conservación del medio ambiente y aprovechando al máximo los recursos disponibles, bien sea de la tierra o de transformación tecnológica.

Con este proyecto se pretende abrir una ventana de oportunidad para que los alumnos del programa de Ingeniería de Procesos puedan adquirir el entrenamiento necesario para desempeñarse con éxito en el DNP. Además, los empresarios del campo puedan obtener un valor agregado para sus productos como alternativa en tiempos de precios desfavorables.

## **ABSTRACT**

Companies face a major challenge is this globalized economy, because to survive they have to offer new products with added value in the international market. This requires professionals trained in the methodologies for the development of new products (DNP) and university graduates must have these skills so that they can contribute to deal with this situation. Along with this they also require innovations running by the side of conservation of the environment and the taking of full advantage of available resources, either from land or technological transformation.

This project is to open a window of opportunity so that the Process Engineering students can acquire the knowledge needed to perform successfully in the DNP training. Also field employers can get value-added products as an alternative in times of unfavourable prices.

## **AUTORES**

**JORGE E. DEVIA PINEDA, Ph.D.**

**ELIZABETH OCAMPO C., I. P.**

**LUIS ALEJANDRO BETANCUR G., I. P.**

**JULIANA HERNÁNDEZ G., I. P.**

**JULIANA ZAPATA N., I. P.**

**JULIANA BOTERO R., I. P.**

**ANA LUCÍA CARMONA C., I. P.**



*“De tres hermanos el de en medio se fue  
por la vereda a descubrir y a fundar  
y para nunca equivocarse o errar  
iba despierto y bien atento al horizonte igual*

*Pero este chico listo no podía ver  
la piedra, el hoyo que vencía a su pie  
y revolcado siempre se la pasó  
y se hizo viejo, queriendo ir lejos, a donde no llegó”*

- Silvio Rodríguez



# Introducción

---

Cuenta la historia que se hallaban un sabio y su aprendiz de visita en una casa muy humilde en el campo, donde de manera hospitalaria habían sido recibidos por una rural familia en uno de sus viajes de peregrinación.

Al preguntar el sabio y su aprendiz a aquellas personas acerca de sus vidas y como lograban el sustento diario en un lugar tan apartado, el padre de esta familia les explicaba que sencillamente ellos tenían una vaca, de la cual extraían leche, con la cual hacían queso y mantequilla que también consumían, y de los cuales vendían aquello que les sobraba para comprar algunas otras cosas para sus necesidades vitales.

En un momento dado, el maestro decide decir al aprendiz que le acompañase afuera, a pasear un poco y a ver aquella vaca que le intrigaba tanto, y que de manera estoica y desinteresada daba sustento a aquella familia. Al encontrarla pastando cerca, en un improvisado establo al pie

de un desfiladero, el maestro dice al aprendiz: –Bueno, quiero que empujes la vaca por el desfiladero. El aprendiz no saliendo aún de su asombro responde a su mentor: –Pero maestro, cómo se le ocurre decir eso, ellos morirían de hambre. –No te angusties hijo, sólo hazlo. Finalmente dada la insistencia del viejo para tal sinsentido, el joven cede y decide empujar a la vaca hacia su fatídico final.

Disimuladamente y volviendo a la casa narran el hecho a la familia enmascarándolo como si accidentalmente hubiesen visto al animal resbalar hacia su muerte, ante lo cual muy alarmado el padre corrió en auxilio sin poder ya nada hacer para remediar el hecho.

Más tarde, transcurridos los años y habiendo muerto el sabio, el aprendiz ya mayor decide volver donde la desdichada familia, que nunca había dejado de pesar en su conciencia, para ver qué habría sido de ellos desde aquel entonces. Al

volver al campo se asombró mucho al encontrar no un rancho humilde sino una mansión bien edificada en una parcelación con portentosos cultivos y animales, ante lo cual pensó –Dios mío, evidentemente esa desdichada familia tal vez pereció ante las circunstancias de aquel entonces y desgraciadamente pues en algún momento tal vez la propiedad hubiera sido comprada por otras personas.

Pero fue aún más su asombro al ser saludado por el padre de familia que aquella vez lo había recibido y que había sido víctima del accidente con la desdichada vaca muchos años atrás.

–Pero cómo es posible? Cómo está usted acá si aquel día su única forma de sustento era aquella vaca que encontró su muerte en el desfiladero. Si ese era su única esperanza de librar el sustento del día a día?!

–Sí, usted tiene toda la razón fueron momentos difíciles una vez nos hizo falta la leche, el queso y demás. Pero bueno, ve usted esos árboles, esa tierra, ese lago? Nos vimos obligados a sacar lo mejor de esas cosas y pues aquí usted ve: nos han sobrado algunas cosas más que nos va mejor comerciando.

El sabio tenía razón...

Y si esa vaca fueran los cultivos de los campos de nuestro país como los de papa o semillas de soya para obtener leche? Qué tal que detrás de ellos haya mucho más cosas que nos permitan hacer de nuestra humilde casa en los mercados nacionales e internacionales, una mansión con todos los lujos?

Esa es la propuesta de que hablan en la siguiente publicación los proyectos que se exponen, y quizá muchos otros que pueden extraerse de los subproductos de nuestras riquezas vegetales, llenas de oportunidades sociales y económicas.



# Capítulo 1

## DISEÑO CONCEPTUAL PARA EL PROCESO DE LA DESHIDRATACIÓN DE LA PAPA

### 1.1 ANTECEDENTES

La papa es un alimento esencial para la seguridad alimentaria mundial, que ocupa el cuarto lugar en importancia de alimentos en el ámbito global. Es rica en nutrientes y una gran fuente de carbohidratos. Además se caracteriza por su alto contenido de humedad, que puede llegar a triplicar la materia seca del tubérculo. El agua es un compuesto esencial para el buen funcionamiento de los organismos, por lo cual su ingesta es beneficiosa para quien la consume, sin embargo, su presencia es perjudicial para la conservación de los alimentos, porque un medio rico en agua se convierte en un ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos que aceleran su deterioro.

El alto contenido de humedad de la papa constituye un problema en épocas de alta oferta, porque no hay mercado para captar la gran cantidad de producto en circulación. Se ocasionan bajos precios y situaciones en las que los cultivadores no llevan sus productos al mercado, y deben disponer de las papas

en sus fincas, destinándolas para alimentación interna de las familias, del ganado y desechar las sobrantes, algo que no debiera darse en el contexto de la crisis alimentaria mundial actual.

El fenómeno de la sobreproducción de papa ocurre sólo en ciertas épocas del año, en cambio existe otro aspecto asociado que es de carácter permanente y es la papa de segunda ó descarte, que no cumple con especificaciones de tamaño y por lo tanto no sale al mercado en condiciones de demanda normales. Las pérdidas para los cultivadores son considerables debido a los altos costos que tiene el cultivo del tubérculo en Colombia.

Estas circunstancias llevan a revisar proyectos que anteriormente se han planteado teóricamente en Colombia, mas no se han llevado a la práctica (Galo, 2007; López, 1998; Palacio, 1997). Se trata de establecer una planta de procesamiento de papa para reducir su humedad, y así aumentar su período de conservación y generar valor agregado a los excedentes y aquellas consideradas de segunda. De esta forma se

siguen las tendencias internacionales de procesamiento de papa deshidratada, enfocando el proceso a la producción de harina de papa.

Los orígenes de la deshidratación o secado de la papa, datan de la época de los Incas que surge en el año 1200 d.C (Shein *et al*, 1986). Ellos dejaban congelar las papas durante la noche y las descongelaban durante el día. La repetición de este ciclo hasta obtener un producto lo suficientemente seco para que se preserve, da como resultado un producto conocido como “Chuño”. La “Tunta”, que se elabora con un proceso similar al del “Chuño”, tiene la diferencia que las papas aplastadas se cubren con paja durante la exposición al sol. Cuando el producto está seco se sumerge en un charco o piscina poco profunda durante dos meses, y luego nuevamente se seca al sol. Tanto en la época de los Incas, como ahora, los alimentos deshidratados o desecados contribuyen a la alimentación de los ejércitos (Copley *et al*, 1973).

Por otro lado, la necesidad de encontrar materia prima para las plantas de alcohol, cuando no era posible acceder a materia prima fresca, impulsó la iniciación de la industria moderna de deshidratación de papa, entre los años 1894 y 1902 (Copley *et al*, 1973).

Colombia cuenta con un área destinada al cultivo de la papa de 160.690 hectáreas, que se refleja en una producción anual de 2.859.631 toneladas. El rendimiento promedio es de 17.8 ton/ha. Para el año 2007 se estimó la presencia de 100 mil productores que generan empleo directo para 94.338 personas. El cultivo de la papa se considera el primero en requerimientos de fungicidas e insecticidas y el segundo en fertilizantes químicos. Los principales departamentos productores son: Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia. Este último representa el 8.5% de la producción nacional (Villareal, 2008).

Antioquia ocupa el cuarto lugar en producción de papa en Colombia. Es precedida por Cundinamarca, Boyacá y Nariño. Estos departamentos representan en total el 91% de la producción anual en el país. De forma individual, Antioquia aporta el 8.5% de la producción nacional, que ascendió en el 2007 a 257.367 toneladas, con rendimiento promedio de 16,72 Ton/ha y aproximadamente 20.000 productores. (Cadena Agroalimentaria de la Papa - Antioquia, 2009; Lagoeyte, 2008).

En el departamento de Antioquia un 70% del área cultivada se siembra con la variedad Diacol Capiro, mientras que un 20%, se siembra con Ica Puracé, y el resto con las variedades, Ica Nevada, Careta, Cumanday y Criolla (Cadena Agroalimentaria de la Papa - Antioquia, 2009).

## 1.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO

### 1.2.1 Tendencias del Mercado

Colombia presenta una ventaja competitiva en la producción de papa fresca, y es el tercer productor del tubérculo en América Latina. Por otro lado posee una marcada deficiencia en sus productos procesados, para lo cual sólo se destina el 8% de la producción anual, y no existe un porcentaje asignado para los productos de papa deshidratada (Villareal, 2008).

Las tendencias de producción entre los años 2001 - 2006 muestran que Colombia es un país autosuficiente en producción de este tubérculo. Las importaciones son aproximadamente el 0.21% de la producción anual y las exportaciones ascienden a 0.71% de la misma. Las importaciones del tubérculo se encuentran principalmente constituidas por productos procesados, en su mayoría papas preparadas, conservadas o congeladas (Observatorio Agrocadenas Colombia, 2006).

Periódicamente la producción de papa supera el consumo interno y las exportaciones, y se presenta el fenómeno de la sobreproducción. Una funcionaria de la Secretaría de Agricultura de Antioquia afirma que “en épocas de abundancia los productores destinan la papa para el ganado, o la dejan perder porque no justifica sacarla al mercado, no paga los fletes ni los empaques”, (Álvarez, 2008). El principal factor para la pérdida de papa en los centros de distribución es su humedad, porque acelera el proceso de deterioro.

En consecuencia, surge la idea de seleccionar y diseñar un proceso para deshidratar papa y así darle valor agregado, con el fin de aumentar su ciclo de vida, facilitar su almacenamiento durante épocas de sobreproducción y asegurar sus existencias en períodos de escasez.

La papa es un alimento de gran importancia en el Sistema Alimentario Mundial, ocupando el cuarto

nivel como alimento básico, sólo precedida por el trigo, el arroz y el maíz. Es de vital importancia para la seguridad alimentaria, porque tiene altos rendimientos de producción, que oscilan entre las 20 y 30 ton/ha, mientras en granos y cereales se alcanzan rendimientos hasta 4 ton/ha. Además las papas poseen gran capacidad de almacenar productos de la fotosíntesis (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Antioquia, 2008).

En el 2007 las cifras mundiales de producción de papa alcanzaron 320,71 millones de toneladas. Los principales productores fueron China, Federación Rusa, India, Ucrania y Estados Unidos (Faostat, 2008). En la tabla 1.1 se muestra la evolución de la producción de papa desde el año 1991. En la tabla 1.2 se presentan los principales productores y consumidores a nivel mundial y en la tabla 1.3, los principales productores en América Latina, datos para el año 2007.

**TABLA 1.1**  
**Producción mundial de papa (millones de toneladas)**

Año	1991	1993	1995	1997	1999	2001	2003	2005	2007
<b>Toneladas</b>	267,99	301,26	285,97	303,35	301,08	312,85	313,08	320,11	320,71

Fuente: Datos tomados de FAOSTAT, 2008; Villareal, 2008.

En la tabla 1.2 se evidencian los altibajos en la producción mundial que, desde el año 1991 hasta el 2007, tuvo un incremento de 52.72 millones toneladas.

**TABLA 1.2**  
**Principales países productores y consumidores 2007**

País	Producción (ton)	País	Consumo per cápita (Kg año)
1. China	72.000.000	1. Bielorusia	337,9
2. Fed. De Rusia	35.718.000	2. Países Bajos	152,2
3. India	26.280.000	3. Ucrania	141,9
4. Ucrania	19.102.300	4. Dinamarca	141,6
5. Estados Unidos	17.653.920	5. Letonia	136,1

Fuente: Datos tomados de Villareal, 2008.

En la tabla 1.3 se muestran los países con mayor producción. Es de resaltar que estos países con altos niveles de producción, se caracterizan por tener grandes territorios o un alto número de habitantes, o ambas características. Además, se evidencia que los países con un alto consumo per cápita, no son aquellos que se caracterizan por tener una alta producción, a excepción de Ucrania.

**TABLA 1.3**  
**Área, producción, rendimiento y consumo de los principales países productores de papa en América Latina, 2007**

País	Área cosechada (Ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/Ha)	Consumo per cápita (Kg/año)
Perú	260.000	3.250.000	12,5	80
Brasil	142.327	3.375.054	23,7	14
Colombia	160.690	2.859.631	17,8	65
Argentina	68.000	1.950.000	28,6	44
México	62.000	1.530.000	24,6	17
Chile	63.910	1.445.000	22,6	51
Bolivia	135.600	755.000	5,5	120

Fuente: datos tomados de Villareal, 2008; FAOSTAT, 2008

El Perú es el principal productor en América Latina, por la gran tradición que tiene el país respecto a este tubérculo, que data desde hace aproximadamente 8.000 años. Brasil, es el segundo productor de papa en América Latina, pero dentro de la economía interna de este país, ésta presenta un papel secundario, lo que se evidencia también en su bajo consumo per cápita. Argentina, ha logrado posicionarse como un importante productor de papa en América Latina, debido a su alto rendimiento de producción, por poseer un alto grado de mecanización del cultivo y cosecha (FAOSTAT, 2008).

En Colombia, las unidades de producción de papa se encuentran muy dispersas geográficamente, lo que junto con la alta dependencia de los factores climáticos, definen su esquema de comercialización. El precio final del producto, se determina en la etapa de comercialización misma (Cadena Agroalimentaria de la Papa - Antioquia, 2009).

Los pequeños y medianos productores, quienes poseen el 98% de las explotaciones de papa, con áreas cultivadas entre 1 y 5 hectáreas, tienen poca capacidad de negociación en el mercado, por lo cual el esquema de comercialización depende mucho de los intermediarios, que son los comerciantes de las centrales mayoristas, quienes canalizan el 92% de la producción para consumo fresco. El 8% restante es comercializado a través de supermercados y almacenes de cadena (Villareal, 2008).

### 1.2.2 Identificación de los Factores de Calidad

El nombre científico para la papa es *Solanum Tuberosum*. La papa es un tallo subterráneo, también llamado tubérculo, donde se almacena energía. Los tubérculos de papa, se encuentran adheridos al extremo de los estolones, tallos delgados que crecen a lo largo de la superficie del suelo y que se encuentran adheridos por el otro extremo a la planta, convirtiéndose así

los estolones en el cordón umbilical para los tubérculos. (Eichorn *et al*, 1992; Ríos, 2009).

Las características del método de cultivo, calidad y valor nutricional son propias de cada tipo de papa. La 1.4 ilustra la composición promedio de un tubérculo de papa.

**TABLA 1.4**  
**Composición promedio de un tubérculo de papa**

Componentes	Contenido
Humedad	63,0 - 87%
Carbohidratos	11,5 - 28,1%
Proteína	0,7 - 4,6%
Grasa	Trazas - 1%
Fibra	0,2 - 3,5%
Calcio	15 mg
Fósforo	50 mg
Hierro	1mg
Vitamina A	0,01 mg
Vitamina B1	0,1 mg
Vitamina C	25 mg
Cenizas	0,4 - 1,9%

Fuente: SINAIPA, 2002

El valor alimenticio de la papa disminuye a causa de su alto porcentaje de humedad. En la tabla 1.4 se evidencia como éste puede ascender hasta un 87%. Es común pensar que las papas son un alimento que engorda, a pesar de que sólo contiene aproximadamente un 14% de almidón (clase de carbohidratos). Se estima que una persona podría ingerir unas 9 libras de papa, para equiparar las 2.600 calorías, de una alimentación diaria promedio (Desrosier, 1973).

La papa es el tubérculo que mayor contenido de proteínas posee, tiene fibra, que es de gran importancia para la regulación del tracto digestivo; antioxidantes para regular las enfermedades producto del envejecimiento y además posee

micronutrientes en grandes cantidades, como la vitamina C. (Prokop, 2008).

### 1.3 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO

La deshidratación o secado es el método más antiguo aplicado por el hombre para la preservación de los alimentos. Por años ha secado productos como el pescado, la carne, frutas y cereales, para tener su abastecimiento en épocas de escasez. La deshidratación de un alimento, que puede realizarse en una gran variedad de equipos, puede definirse como la operación unitaria donde la mayor parte de agua contenida en éste se remueve por evaporación o por sublimación, con la aplicación controlada de calor, presentándose simultáneamente los fenómenos de transferencia de calor y de masa (Mujumdar, 2006; Fellows 2000, Brennan *et al*, 1980).

Entre los métodos empleados para la deshidratación de alimentos se encuentran los siguientes (Brennan, 1980; McCabe *et al* 1991):

- Secado con gas caliente: el alimento se expone a una corriente de gas caliente, casi siempre aire, a condiciones atmosféricas. La convección es el método de transferencia de calor, que ocurre en este secado.
- Secado por contacto con una superficie caliente: el calor se transmite de una manera directa al producto, por medio de transferencia de calor conductiva.
- Secado al vacío: la evaporación del agua se favorece por bajas presiones. El calor se añade de manera indirecta, ya sea por el aporte de energía de una fuente radiante, o por contacto con una pared metálica.
- Liofilización: el agua presente en el producto se congela y se pasa directamente al estado vapor (sublimación), aportándose calor a bajas presiones.

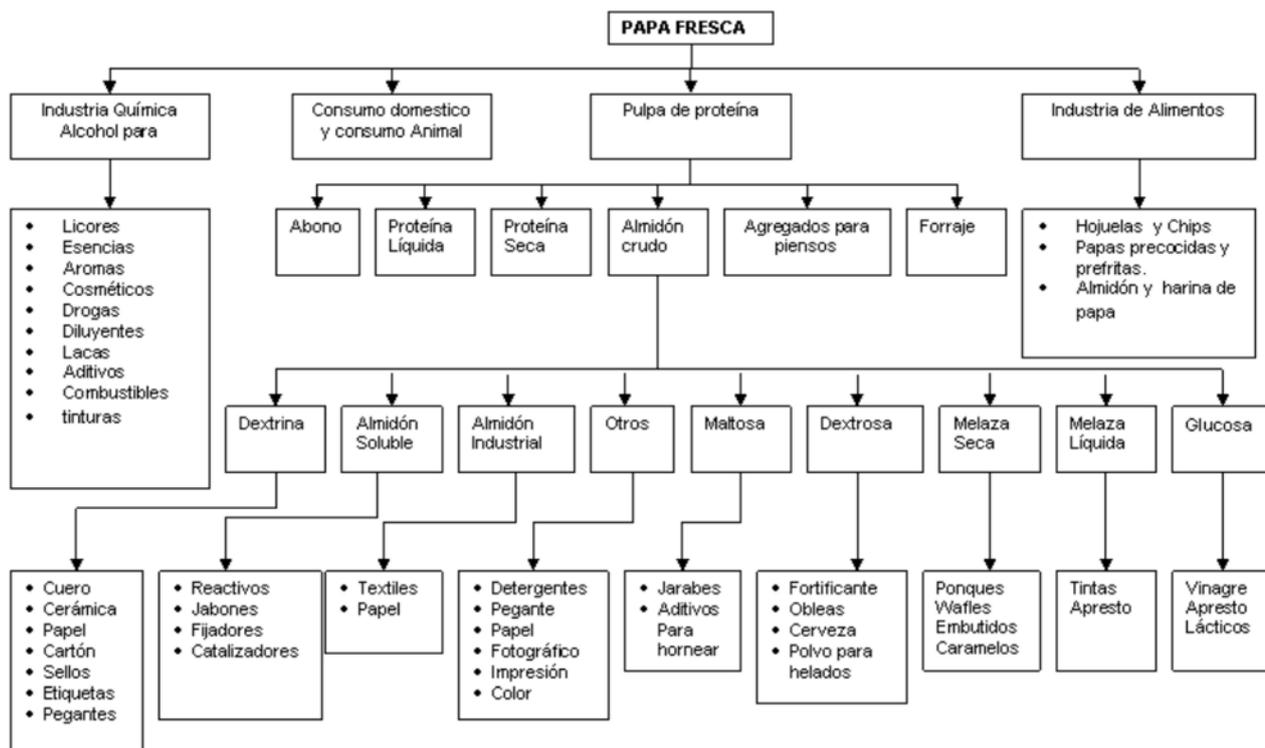
La papa tiene gran cantidad de usos, tanto a nivel alimenticio como a nivel industrial. En la figura 1.1 se ilustran muchas de las aplicaciones que tiene este tubérculo, o los constituyentes que de éste se extraen.

Las principales formas procesadas de papa no han cambiado mucho desde la década de los 70, cuando los productos eran papas congeladas

(fritas y a la francesa) y papas deshidratadas: en hojuelas, gránulos y harina.

PotatoPro, es un portal virtual que permite ver un gran número de compañías registradas, que se dedican al procesamiento de papa, con fines alimenticios, en el figuran compañías como Kraft Foods, McCain Ltda. y Procter & Gamble (PotatoPro, 2008).

**FIGURA 1.1. Uso integral de la papa**



Fuente: Información tomada de SICA, 2000

### 1.3.1 Ensayos preliminares

El objetivo de las pruebas preliminares es evaluar el comportamiento de humedad en el tiempo, para la variedad DIACOL CAPIRO e ICA PURACÉ, en dos distintas formas de configuración de un lecho de 3mm de espesor: rodajas o láminas, para identificar diferencias entre las variedades y entre ambas configuraciones. Especialmente el secado en forma de lámina no uniforme, permite un mejor aprovechamiento del área de la bandeja, porque con las rodajas se pierde espacio entre ellas debido a la variabilidad de tamaños de las papas frescas y diferencias en su esfericidad. A medida que aumenta el tamaño del tubérculo, éste pasa de una forma redonda a una forma oblonga (Buitrago, G. *et al*, 2003).

En el laboratorio se usó un Deshidratador Excalibur 2900, con termostato ajustable 29,44 – 62,78°C, puerta y bandejas removibles, con capacidad para 9 bandejas y área total de secado de 1,393 m<sup>2</sup>. Además tiene un ventilador de 600 W, 120 volt 60 Hz (Figura 1.2).

**FIGURA 1.2**  
**Deshidratador Excalibur 2900**



Las variables del proceso de secado son las siguientes (Geankoplis, 1998; Chemkhi *et al*, 2005):

- Velocidad del aire
- Temperatura del aire
- Humedad del aire
- Espesor del lecho que se está secando

La velocidad del aire dentro del equipo en que se realizan las pruebas experimentales, Excalibur 2900, es un parámetro fijo, 2m/s, que está dentro del intervalo para secadores de bandeja y es una velocidad común en los secadores industriales. (Vélez, 2009). A medida que la velocidad del aire aumenta, la velocidad de secado también lo hace, debido a un aumento en el coeficiente de transferencia de calor. (Chemkhi *et al*, 2005; Geankoplis, 1998).

Los secadores continuos se caracterizan por someter al producto a altas temperaturas en cortos periodos de tiempo. En un secador de

bandejas el producto se encuentra sometido durante un periodo mayor de tiempo a aire caliente, generándose cambios sensoriales y nutricionales. La temperatura de secado influye de manera significativa, en la magnitud de estos daños. Para la papa, temperaturas altas de 80 y 90°C provocan características de color y apariencia indeseados (Palacio, 1997).

Un aumento en la temperatura, disminuye el tiempo de secado, debido a su influencia en la velocidad de secado. En teoría, el secado es más eficiente a temperaturas superiores porque se consume menos energía en la evaporación (Wilcke, 2008). Se han realizado pruebas experimentales con papa para registrar tiempos de secado, a diferentes niveles de temperatura. Uno de estos estudios concluye que para los niveles 30°C, 40°C y 50°C, temperaturas moderadas recomendadas para alimentos, no existe diferencia significativa en el tiempo de secado (Chemkhi *et al*, 2005).

Para el secado de papa se han utilizado temperaturas de 50°C (Palacio, 1997), 41 a 45°C en autoclave (Galo, 2007) y 42°C (Chemkhi, 2005). Teniendo en cuenta esta experiencia y la temperatura sugerida por los fabricantes de los secadores Excalibur en sus instrucciones de funcionamiento, para el secado de vegetales, la cual es de 52°C, ésta se toma como la temperatura del proceso no sobrepasando el límite de los 60°C, temperatura máxima de trabajo sugerida para los productos alimenticios.

En un secador de bandejas la papa se puede secar en diversidad de geometrías. El secado en forma de tajada, para su posterior molienda ha sido utilizado para la obtención de harina de papa como se mencionó anteriormente. Vibrasec S.A, empresa del sector de deshidratación de alimentos, recomienda colocar los productos en trozos pequeños o en rodajas pequeñas de 2 a 3mm, basado en la experiencia de los clientes (Vélez, 2009).

Pruebas sobre secado de papa, a 42°C, 20% de humedad relativa y velocidad de aire de 3 m/s, han concluido que un lecho de un espesor de 5 mm puede tardar menos de una hora en secarse, mientras lechos de 10 y 20 mm tardan tres horas y media, y doce horas respectivamente.(Chemkhi

et al, 2005) Pensando en el desarrollo de una planta piloto, donde el tiempo de utilización del equipo cuello de botella no sea tan elevado y haciendo uso de la experiencia de los clientes de Vibrasec S.A, se ha seleccionado el espesor de lecho como 3mm.

### 1.3.2 Diseño de Experimentos

**TABLA 1.5**  
**Principales características de las dos variedades de papa más cultivadas en Antioquia**

Variedad	DIACOL CAPIRO	ICA PURACÉ
Adaptación	2.000 a 2.800 m.s.n.m.	2.000 a 3000 m.s.n.m.
Período vegetativo	5 - 6 meses	5 - 5.5 meses
Planta	Porte extendido, tallos no muy gruesos verde y púrpura	Porte erecto, tallos gruesos de color verde oscuro.
Hoja	Grande, alargada, de color verde oscuro	Grande y ancha de color verde oscuro
Flor	De color rosada o lila.	No muy abundantes, de color rosada violácea o lila
Tubérculo	Grande, redondo, ligeramente aplanado, ojos superficiales, piel roja, casi morada.	Grande, redondo, ligeramente aplanado, ojos superficiales, piel púrpura claro o roja
Rendimiento comercial	25- 30 ton/ha	35 ton/ha
Materia seca	22%	22%
Período de reposo	2 meses (15°C y 90% de humedad relativa.)	2 meses (15°C y 75% de humedad relativa)
Calidad culinaria	Buena para el consumo fresco	Regular- no se desintegra al cocinarse

Fuente: Información tomada de SINAIPA 2002, Cadena Agroalimentaria de la Papa - Antioquia, 2009; Corpoica, 2009.

En la tabla 1.5 se presentan las principales características de las variedades de papa ICA PURACÉ y DIACOL CAPIRO. La variable más importante que de ésta se extrae, para el desarrollo del proceso de secado, es la materia seca, porque permite saber el contenido de agua que tiene el producto. Si bien la literatura reporta para ambas un porcentaje de materia seca del 22%, correspondiente a un 78% de humedad. Esta característica de la papa suele ser muy fluctuante porque depende de las condiciones de cultivo y cosecha, además, pueden existir más diferencias entre dos papas de la misma variedad, cultivadas bajo distintas condiciones, que las que se dan entre dos papas de diferente variedad,

cultivadas en el mismo medio. (Copley *et al*, 1973) Por las anteriores razones se midió en la balanza determinadora de humedad OHAUS, el contenido de humedad de ambas variedades de papa, de manera triplicada obteniéndose un promedio de 75,1% de humedad para la variedad DIACOL CAPIRO y 75,3% para la variedad ICA PURACÉ. En la tabla 1.6 se presenta la composición nutricional, que acompañaba a la variedad DIACOL CAPIRO, cuando esta fue adquirida en los almacenes ÉXITO, durante el segundo semestre del año 2008.

**TABLA 1.6**  
**Composición nutricional 100g papa**  
**variedad DIACOL CAPIRO**

Elemento o Compuesto	Unidad	Total
Agua	%	75,5
Proteínas	%	1,9
Grasas	%	0,1
Carbohidratos	%	19,3
fibras	%	2,2
Calorias	Kcal	83
Vitamina C	Mg	20
Fósforo	Mg	26
Hierro	Mg	0,6
Calcio	Mg	4

Fuente: Etiqueta supermercado ÉXITO

La humedad medida en el laboratorio, difiere de la reportada por el vendedor del producto en su etiqueta. Esto se debe a las condiciones ya mencionadas que hacen que la composición de una misma variedad de papa fluctúe.

La papa ICA PURACÉ tiende a distribuirse en centrales mayoristas y no en almacenes de cadena. Las papas de esta variedad utilizadas en los ensayos, fueron adquiridas en la Central Mayorista de Antioquia.

### 1.3.3 Secado en tajadas

La secuencia utilizada para el secado de papas en tajadas fue:

- Lavado manual con jabón.
- Remoción de agua remante del proceso de lavado.
- Corte, en tajadora casera en tajadas de aproximadamente 3mm de espesor.
- Distribución de tajadas en bandeja central, número 4.
- Secado y registro de datos cada 15 minutos.
- Pulverizado en licuadora.

La masa total cargada en la bandeja para la variedad DIACOL CAPIRO fue de 150g y para ICA PÚRACE de 147,6g, masa distribuida en aproximadamente 16 tajadas. El control se realizó para una tajada, a la cual se le registro el cambio en peso en el tiempo. Posteriormente se calculó la humedad en base húmeda y en base seca para cada tiempo a partir de las ecuaciones 3, 4 y 5 mencionadas en el capítulo 4.

En las tablas 1.7 y 1.8 se presentan los resultados de humedad en el tiempo, las variedades DIACOL CAPIRO e ICA PURACÉ, bajo una configuración en tajadas.

Modelo de cálculo:

Para tiempo 0:

Se calcula, a partir de la humedad total de la papa, la materia seca o masa del sólido seco.

$$m_{ss} = 9,4g - 9,4g * 0,751 = 2,34g = 0,00234kg$$

Con la materia seca y el peso final se calcula la humedad en base húmeda.

$$H_{bh} = \frac{9,4g - 2,34g}{9,4g} = 0,751$$

Mediante la relación de humedades, la humedad en base húmeda es transformada en humedad en base seca.

$$H_{bs} = \frac{\left( \frac{100 * 75,1}{100 - 75,1} \right)}{100} = 3,016$$

De la anterior manera se realizan los cálculos para los demás tiempos.

**TABLA 1.7**  
**Humedad en el tiempo para papa DIACOL CAPIRO en tajadas sometidas a secado**

Tiempo (min)	Peso final $P_f$ (g)	Materia seca (sólido seco) $m_{ss}$ (g)	% Humedad base húmeda $H_{bh}$ (Kg H <sub>2</sub> O/Kg totales)	Humedad base seca $H_{bs}$ (Kg H <sub>2</sub> O/Kg sólido seco)
0	9,40	2,34	75,10	3,02
15	7,10	2,34	67,05	2,04
30	5,23	2,34	55,21	1,23
45	3,76	2,34	37,83	0,61
60	2,72	2,34	13,98	0,16
75	2,63	2,34	10,91	0,12
90	2,52	2,34	7,28	0,08
105	2,47	2,34	5,21	0,05

**TABLA 1.8**  
**Humedad en el tiempo para papa ICA PURACÉ en tajadas sometidas a secado**

Tiempo (min)	Peso final $P_f$ (g)	Materia seca (sólido seco) $m_{ss}$ (g)	% Humedad base húmeda $H_{bh}$ (Kg H <sub>2</sub> O/Kg totales)	Humedad base seca $H_{bs}$ (Kg H <sub>2</sub> O/Kg sólido seco)
0	8,70	2,15	75,30	3,05
15	6,68	2,15	67,84	2,11
30	5,19	2,15	58,61	1,42
45	3,85	2,15	44,17	0,79
60	2,91	2,15	26,16	0,35
75	2,64	2,15	18,71	0,23
90	2,44	2,15	12,04	0,14
105	2,33	2,15	7,94	0,09

Comparando los resultados del proceso de secado mostrados en las tablas 1.7 y 1.8 se evidencia, que la papa DIACOL CAPIRO, alcanza una humedad (5,21%) 34,38% menor, que la alcanzada por la ICA PURACÉ (7,94%). Esta variación puede deberse a la diferencia de humedades de la materia prima, a la fisiología propia de cada una de las papas o la manipulación de la materia prima durante el proceso.

#### 1.3.4 Secado en lámina

La secuencia utilizada para el secado de papas en lámina fue:

- Lavado manual con jabón.
- Remoción del agua remanente del proceso de lavado.

- Corte manual del tubérculo en 4 partes.
- Cocción.
- Majado de las porciones de papa cocinada en consistencia de puré.
- Construcción de lámina de puré en marco de 170mm \* 230mm de área y 3 mm. de espesor.

La masa total de la lámina para la variedad ICA PURACÉ es de 142,5g y para la DIACOL CAPIRO es de 144,5g.

En las tablas 1.9 y 1.10, se muestra la humedad en el tiempo, para las láminas de 3mm de espesor de variedades ICA PURACÉ y DIACOL CAPIRO. El modelo de cálculo seguido es el mismo que para la configuración en tajadas.

**TABLA 1.9**  
**Humedad en el tiempo para papa DIACOL CAPIRO en lámina sometida a secado**

Tiempo (min)	Peso final $P_f$ (g)	Materia seca (sólido seco) $m_{ss}$ (g)	% Humedad base húmeda $H_{bh}$ (Kg H <sub>2</sub> O/Kg totales)	Humedad base seca $H_{bs}$ (Kg H <sub>2</sub> O/Kg sólido seco)
0	144,50	34,10	76,40	3,24
30	123,18	34,10	72,31	2,61
60	108,69	34,10	68,63	2,19
90	98,22	34,10	65,28	1,88
120	92,07	34,10	62,96	1,70
150	73,62	34,10	53,68	1,16
180 *	72,16	34,10	52,74	1,12
210	66,74	34,10	48,90	0,96
240	60,18	34,10	43,33	0,76
270	57,22	34,10	40,41	0,68
300	49,63	34,10	31,29	0,46
330	39,96	34,10	14,66	0,17
360	37,97	34,10	10,19	0,11
390	36,62	34,10	6,87	0,07

\* En este tiempo las láminas fueron volteadas.

**TABLA 1.10**  
**Humedad en el tiempo para papa ICA PURACÉ en lámina sometida a secado**

Tiempo (min)	Peso final $P_f$ (g)	Materia seca (sólido seco) $m_{ss}$ (g)	% Humedad base húmeda $H_{bh}$ (Kg H <sub>2</sub> O/Kg totales)	Humedad base seca $H_{bs}$ (Kg H <sub>2</sub> O/Kg sólido seco)
0	144,50	33,96	76,50	3,26
30	124,12	33,96	72,64	2,66
60	109,85	33,96	69,09	2,23
90	98,27	33,96	65,45	1,89
120	91,94	33,96	63,07	1,71
150	80,84	33,96	57,99	1,38
180 *	69,27	33,96	50,98	1,04
210	63,85	33,96	46,81	0,88
240	58,74	33,96	42,19	0,73
270	54,33	33,96	37,50	0,60
300	49,63	33,96	31,58	0,46
330	42,85	33,96	20,75	0,26
360	39,13	33,96	13,21	0,15
390	37,29	33,96	8,93	0,10

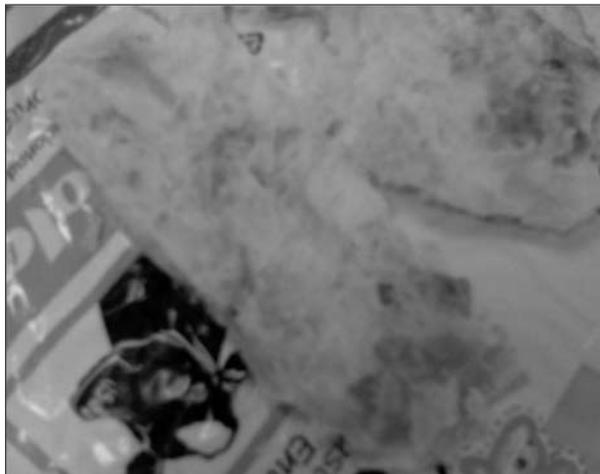
\* En este tiempo las láminas fueron volteadas.

Durante el secado en láminas, para el tiempo 390 minutos, se logró una menor humedad final, en la variedad DIACOL CAPIRO, que en la variedad ICA PURACÉ, de una manera semejante a lo sucedido para el secado en tajadas de ambas variedades. Durante este secado se presentó la formación de costra, película impermeable y dura, que frena el secado (Arteaga y Rodríguez, 2005).

Este fenómeno se identificó a los 180 minutos, para la papa DIACOL CAPIRO, al observar una pérdida lenta de humedad, en relación con

lo sucedido en el secado en tajadas. La capa superior de la lámina tenía apariencia de estar bastante seca, pero al ser volteada se observó que ésta se encontraba todavía con una gran cantidad de agua, la cual no había sido posible apreciar, debido a la costra formada. Al ser identificada la aparición de este obstáculo en el secado, la lámina fue volteada, para que se secase por el otro lado, a los 180 minutos. Para que las condiciones de secado fueran iguales en ambas variedades, la ICA PURACÉ también fue volteada en este mismo tiempo.

**FIGURA 1.3**  
**Costra formada durante el secado**  
**de papa DIACOL**  
**CAPIRO en forma de lámina**



### 1.3.5 Análisis de resultados

El secado en láminas posee la ventaja de ser una superficie con hendiduras y ondulaciones, factores que ayudan a obtener una velocidad de evaporación superior a la que tendría una superficie completamente plana (Arteaga y Rodríguez, 2005), pero en la práctica la aparición de la costra, cuyo mecanismo de formación es aún desconocido hacen de la opción de las láminas una vía descartable, porque requiere más tiempo que la opción de las tajadas, para llegar a humedades similares.

El exceso de tiempo en una operación de secado se ve reflejado en mayor consumo energético y tiempo de utilización del equipo. Además la opción del puré requiere de energía y mano de obra para el proceso de cocción y majado, que no demandan el proceso en forma de tajada. Otra desventaja de las láminas, es la pérdida de sólidos durante la cocción, la cual puede durar unos 20 minutos. Las pérdidas de sólidos de una papa en agua en ebullición, en un periodo alrededor de 9 minutos, pueden ascender a un 5% en peso (Gerkens, 1970), por

lo cual se anticiparía una pérdida significativa de sólidos durante la cocción. En consecuencia se selecciona el secado en tajadas para el proceso la variedad de papa que se escoge finalmente.

Los ensayos finales se realizan con la variedad de papa que por sus condiciones de disponibilidad, aptitud para procesamiento y comportamiento durante las pruebas preliminares, es la más apta para un procesamiento industrial.

Como se mencionó en los ensayos preliminares, sus resultados no son concluyentes para la escogencia de una variedad de papa, por lo cual se deben considerar otros factores como disponibilidad de materia prima y área cultivada. Antioquia tiene una relación de 3,5 hectáreas cultivadas de papa DIACOL CAPIRO por hectárea cultivada de ICA PURACÉ (Cadena Agroalimentaria de la Papa - Antioquia, 2009) por lo cual se selecciona la variedad DIACOL CAPIRO, lo cual se apoya en la reconocida aptitud de esta última variedad para el procesamiento industrial.

El objetivo de las pruebas experimentales finales, es someter la papa DIACOL CAPIRO, al proceso completo de secado, incluyendo la fase previa de escaldado, con el fin de seleccionar mediante un diseño de experimentos, el tiempo de secado para el diseño de la planta piloto, que cumpla con los requerimientos de humedad fijados para las harinas, dentro de los parámetros establecidos por el Código Alimentario Argentino (humedad inferior al 9%).

La secuencia de pasos para la preparación de la materia prima para el secado final, fue la misma empleada en los ensayos preliminares, con la excepción de un nuevo tratamiento, el escaldado, que se realiza después del corte.

El escaldado es un proceso térmico en el cual el alimento se calienta con vapor o en agua caliente a temperaturas entre los 93 - 100°C.

El calentamiento en agua produce pérdidas de sólidos solubles y requiere altas inversiones de dinero para el agua del tratamiento, a cambio de una baja inversión en el equipo y una mayor eficiencia energética, que en el sistema a vapor.

La función del escaldado es destruir o inactivar enzimas como peroxidasas y fenoloxidasas, para evitar la aparición de sabores y olores indeseados en el producto terminado. El escaldado también es útil para inhibir la acción de microorganismos. Los sulfitos, como el bisulfito de sodio y el meta bisulfito de sodio, se utilizan después del escaldado para prevenir los cambios de color que no son causados por las enzimas, estos compuestos pueden recrudecer en personas asmáticas sus episodios de asma y su sabor resulta fácilmente detectable para algunas personas, aún en bajas concentraciones (Copley *et al*, 1973; Mujumdar, 2006, Fellow, 2000, UNED, 2007).

Existen antioxidantes naturales como el ácido ascórbico que, en concentraciones del 0,1%, evitan el pardeamiento, ayudan a controlar mohos y levaduras y se complementa con ácido

cítrico al 0,3 % para disminuir el pH y ayudar al control de microorganismos (Itescam, 1998). Se decidió realizar un escaldado en agua caliente, por las ventajas mencionadas. Los aditivos se preparan en solución en la misma agua del escaldado, para realizar las dos fases en una sola etapa. El ácido ascórbico y el ácido cítrico, por ser compuestos naturales inofensivos se seleccionan como aditivos, y el tiempo de escaldado se fija como 5 minutos (Arteaga y Rodríguez, 2005).

En el laboratorio el escaldado se realiza en una olla, con agua en ebullición con 0.1% y 0.3% de ácido ascórbico y ácido cítrico, respectivamente.

Durante el escaldado, las tajadas de papa ganan humedad. En la tabla 1.11, se muestran las humedades en base húmeda antes y después para una misma tajada de papa sometida a 5 minutos de escaldado en agua caliente. Para la determinación de la humedad final se utilizan 4 tajadas de papa, escaldadas bajo las mismas condiciones, en distintos tiempos.

**TABLA 1.11**  
**Humedades de tajadas de papa antes y después de escaldar**

Número de tajada	Humedad sin escaldar (%)	Humedad escaldada (%)
1	75,3	76,6
2	75	76,5
3	75,2	76,3
4	74,9	76,2
<b>Promedio</b>	<b>75,1</b>	<b>76,4</b>

Mujumdar (2006) reporta un 1,1% más de humedad en una papa cocinada o escaldada. En la tabla 1.11 puede verse que, a escala laboratorio, el incremento es de 1.3%, presentándose un porcentaje de variación entre la medida experimental y la reportada por Mujumdar del 18,8%. La papa pierde el 5,22% de materia seca, ganando la masa perdida en humedad.

Las tajadas se colocan en la bandeja No. 4 del secador y se procede a secar durante 105 minutos, tiempo en que se espera, de datos de los ensayos preliminares, la obtención de una humedad adecuada para el producto. La curva de secado se realiza por triplicado, en un mismo día, donde las condiciones ambientales se mantuvieron alrededor de 24°C y 68% de humedad relativa a partir del control en peso en cada tiempo de una misma tajada de papa, que durante los 3 ensayos tuvo características similares de tamaño. A continuación se muestra el porcentaje de pérdida de peso en cada tiempo, respecto al peso inicial de la tajada.

A partir de las desviaciones estándar presentadas en la tabla 1.12, que poseen valores significativamente bajos, se verifica la confiabilidad de los datos obtenidos.

Con el porcentaje de pérdida de peso promedio, se calcula el peso final en cada tiempo para el peso inicial promedio y de esta manera se calculan las humedades en base húmeda y base seca para cada tiempo. Las humedades calculadas se presentan en la tabla 1.13.

La humedad en equilibrio no se alcanzó durante la experimentación, porque su objetivo es llevar el alimento a límites de humedad aptos para el producto harina de papa, sin someter las rodajas a un sobrecalentamiento. Para efectos de cálculos se supone la humedad libre como humedad total, porque se espera que la humedad en equilibrio se encuentre por debajo de 5,32% en base húmeda, un valor bastante bajo.

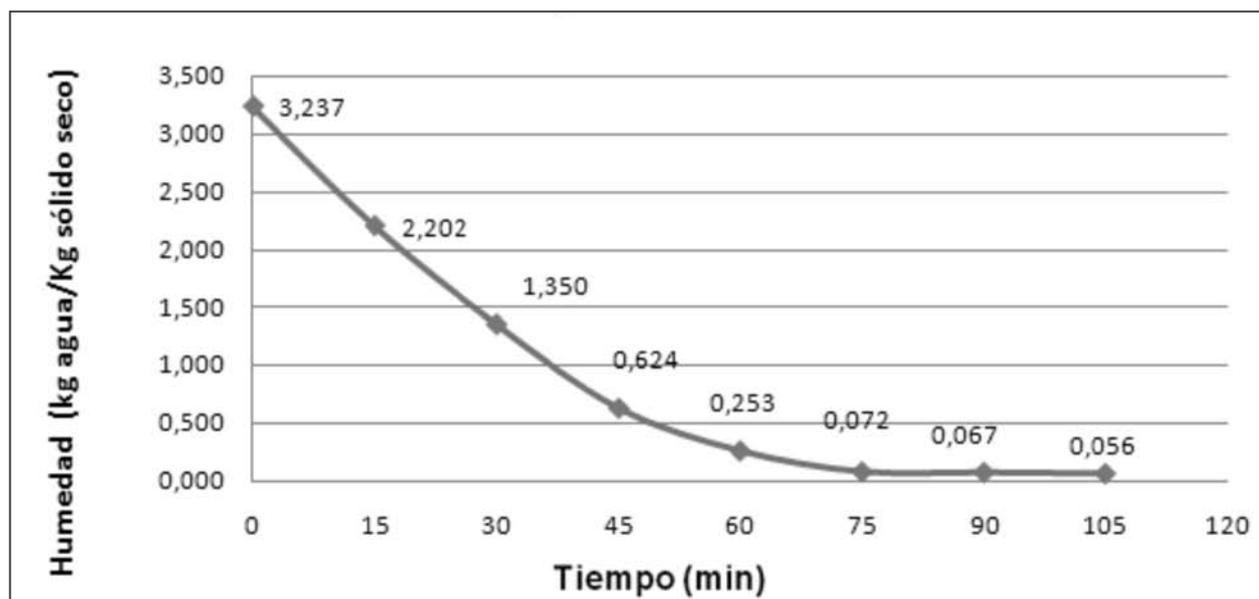
**TABLA 1.12**  
**Pérdida de peso para tres repeticiones de secado hasta 105 minutos**

Tiempo	%Pérdida de peso (1)	%Pérdida de peso (2)	%Pérdida de peso (3)	%Pérdida de peso (promedio)	Desviación Estandar
0	0	0	0	0	0
15	23,98	24,38	24,97	24,44	0,41
30	44,03	45,14	44,48	44,55	0,46
45	61,92	60,75	62,37	61,68	0,68
60	70,22	70,65	70,40	70,43	0,18
75	74,69	74,83	74,57	74,69	0,11
90	74,87	74,94	74,67	74,83	0,11
105	75,09	75,14	74,99	75,07	0,06
<b>Peso Inicial (g)</b>	114,3	120,15	116,1	116,85	2,45

**TABLA 1.13**  
**Humedad total en base húmeda y en base seca para un peso promedio de papa**

Tiempo (min)	Peso final $p_f$ (g)	Materia seca (sólido seco) $m_{ss}$ (g)	% Humedad base húmeda $h_{bh}$ (Kg H2O/Kg totales)	Humedad base seca $h_{bs}$ (Kg H2O/Kg sólido seco)
0	116,85	27,58	76,40	3,237
15	88,29	27,58	68,77	2,202
30	64,79	27,58	57,44	1,350
45	44,77	27,58	38,41	0,624
60	34,56	27,58	20,20	0,253
75	29,57	27,58	6,74	0,072
90	29,41	27,58	6,25	0,067
105	29,13	27,58	5,32	0,056

**FIGURA 1.4**  
**Contenido de humedad total como función de tiempo de secado**



Para el cálculo de la velocidad de secado,  $R$ , se debe calcular el área total expuesta de las tajadas. Un peso de 116,5g equivale aproximadamente a 12 tajadas de diámetro 6cm. Una tajada de 6cm.,

posee un área expuesta al secado que se calcula suponiendo un 40% de área de tajada expuesta en la parte inferior, debido a la estructura de nido de abeja de la bandeja.

$$\text{Área expuesta}_{tajada} = 2 \times \pi \times r \times \text{espesor} + \pi \times r^2 + 0,4 * \pi \times r^2$$

$$\text{Área expuesta}_{tajada} = 2 \times \pi \times 3\text{cm} \times 0,3\text{cm} + \pi(3\text{cm})^2 + 0,4 * \pi(3\text{cm})^2 = 44,296\text{cm}^2$$

A partir de las humedades de la tabla 1.13 se procede al cálculo de R promedio, la velocidad de secado.

Para el intervalo 0 - 15 min y a una humedad en base seca promedio de 2,719Kg H<sub>2</sub>O/ Kg sólido seco:

$$R = -\frac{m_{ss}}{A} * \frac{dH}{dt}$$

$$R = -\frac{0,0275\text{Kg}}{0,0531\text{m}^2} * \frac{(2,202 - 3,237)}{(0,25\text{h} - 0)} = 2,52 \frac{\text{kg H}_2\text{O}}{\text{m}^2\text{h}}$$

**TABLA 1.14**  
**Datos de velocidad de secado promedio**

Tiempo (h)	$m_{ss} / A$ (Kg sólido seco/m <sup>2</sup> )	Humedad base seca (Kg H <sub>2</sub> O/Kg sólido seco)	R Promedio Kg. H <sub>2</sub> O/m <sup>2</sup> .h	Humedad base seca (Kg H <sub>2</sub> O/Kg sólido seco) (promedio)
0,00	0,518	3,237	2,145	2,719
0,25	0,518	2,202	1,765	1,776
0,50	0,518	1,350	1,503	0,987
0,75	0,518	0,624	0,767	0,438
1,00	0,518	0,253	0,375	0,163
1,25	0,518	0,072	0,012	0,069
1,50	0,518	0,067	0,022	0,061
1,75	0,518	0,056	-----	-----

A partir de la tabla 1.14 se construye la curva de velocidad de secado, con ordenadas velocidad y humedad promedio.

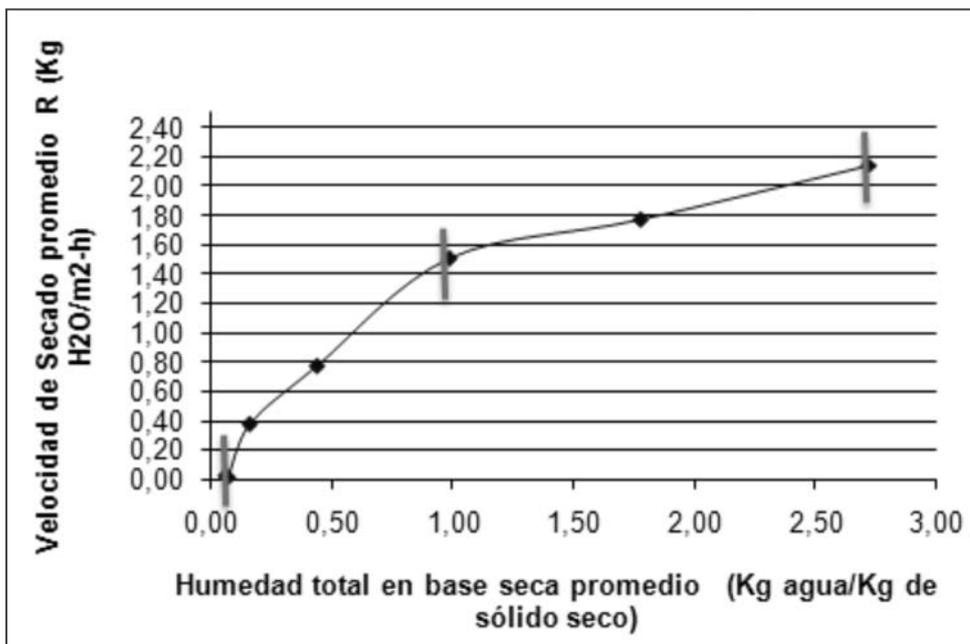
En la figura 1.5 se identifican los siguientes puntos y zonas:

- Intervalo 0,061Kg. H<sub>2</sub>O/Kg. sólido seco – 0,987Kg. H<sub>2</sub>O/Kg. sólido seco: periodo de velocidad creciente.
- Intervalo 0,987Kg. H<sub>2</sub>O/Kg. sólido seco – 2,719Kg. H<sub>2</sub>O/Kg. sólido seco: periodo de velocidad aproximadamente constante.

- Humedad en base seca crítica promedio: 0,987Kg. H<sub>2</sub>O/Kg. sólido seco.

Los coeficientes de transferencia de calor se calculan de manera experimental y de manera empírica, porque no existe teoría que permita la estimación del coeficiente de transferencia de calor a partir de propiedades termofísicas básicas (Mujumdar, 2006), para el periodo de velocidad constante. En la tabla 1.15 se presentan los coeficientes de transferencia de calor.

**FIGURA 1.5**  
**Curva de velocidad de secado promedio**



**TABLA 1.15**  
**Resultados de coeficiente de transferencia de calor experimental y empírico**

Coeficiente de transferencia de calor h (w/m <sup>2</sup> °C)	
Experimental	Empírico
39,248	26,438

El coeficiente de transferencia de calor experimental y el hallado a partir de correlaciones empíricas presenta una diferencia del 32,64%. Esto se debe a que las correlaciones han sido encontradas para un intervalo de temperaturas y velocidades de aire, permitiendo dar una aproximación mas no un dato exacto para el coeficiente de transferencia de calor que se obtiene en el laboratorio.

Se debe seleccionar el tiempo de secado del producto del tal forma que se pueda realizar tanto el análisis microbiológico, como nutricional. Los tiempos preseleccionados para el diseño de la planta piloto son 75, 90 y 105 minutos, tiempos que cumplen con el parámetro fijado para el producto deseado con 9% de humedad en base húmeda. Se realiza un diseño de experimentos unifactorial, con tres niveles de medición, donde se analizan los resultados de la variable de respuesta, cuya variación se debe a errores experimentales, y se analizan las diferencias entre los niveles para identificar su influencia en la variable de respuesta. Lo anterior a partir de un análisis de varianza, ANOVA. Para cada una de las tres temperaturas, se realizan ensayos experimentales, donde la humedad del producto se mide en la balanza OHAUS MB200, estos datos se presentan en la tabla 1.16.

**TABLA 1.16**  
**Resultados de porcentajes de humedad respecto al tiempo de secado**

Tiempo de secado (min)	% Humedad base húmeda (kg H <sub>2</sub> O/Kg totales) Prueba 1	% Humedad base húmeda (kg H <sub>2</sub> O/Kg totales) Prueba 2	% Humedad base húmeda (kg H <sub>2</sub> O/Kg totales) Prueba 3
75	6,5	6,7	6,8
90	6,1	6,3	6,3
105	5,8	5,7	6

- Hipótesis nula: no existe diferencia significativa entre los tiempos de secado con respecto al porcentaje de humedad.
- Hipótesis alternativa: existe diferencia significativa entre los tiempos de secado con respecto al porcentaje de humedad.

Mediante el software Statgraphics, se realizó el análisis estadístico ANOVA simple. Los resultados de este análisis se presentan en la tabla 1.17.

**TABLA 1.17**  
**Tabla ANOVA para humedad según tiempo de secado**

Análisis de la Varianza					
Fuente	Sumas de cuad.	Gl	Cuadrado Medio	Cociente-F	P-Valor
Entre grupos	1,04222	2	0,521111	26,06	0,0011
Intra grupos	0,12	6	0,02		
<b>Total (Corr.)</b>	<b>1,16222</b>	<b>8</b>			

A partir de un P- Value de 0,0011, extraído de la tabla 1.17, se rechaza la hipótesis nula, por ser inferior al nivel de significancia establecido de 0,05. Lo cual indica que hay una diferencia significativa entre los tiempos de secado con respecto al porcentaje de humedad.

Los estadísticos de humedad para los tres niveles de tiempo y la desviación estándar entre las medidas para un mismo nivel de temperatura, muestran como no existe diferencia significativa entre estas, asegurando reproducibilidad de los datos y confianza en las mediciones.

#### 1.4 EVALUACIÓN DEL PRODUCTO

El 8% de la producción nacional, 228.800 toneladas/año, se destina al procesamiento industrial por cerca de 70 empresas; el 80% de esta materia prima se procesa en forma de chips y el 20% es precocida congelada a la francesa (Villareal, 2008).

Las empresas colombianas, Congelagro, Frito-Lay, Yupi y Comestibles Ricos, procesan el 95% de las 228.800 toneladas de papa, destinadas al uso industrial. (Villareal, 2008).

En Colombia se cultivan más de 40 variedades de papa, sólo 12 de ellas son de importancia comercial. (Villareal, 2008) En la tabla 1.18 se presentan aquellas con importancia industrial en el ámbito nacional.

**TABLA 1.18**  
**Variedades de papa en Colombia con mayor aptitud para procesamiento industrial**

Variedad	Características
DIACOL CAPIRO	Es la papa mas utilizada en Colombia con fines industriales. Presenta buena oferta la mayor parte del año. Bajo contenido de sólidos. Piel gruesa que aumenta el tiempo de pelado y los desperdicios. Profundidad de los ojos que aumenta la cantidad del producto terminado.
ICA UNICA	Utilizada principalmente para la elaboración de papas a la francesa, por su buen tamaño. % de azucares reductores variable. Imposibilidad de almacenamiento prolongada (fuerte susceptibilidad al ataque de microorganismos y hongos). Oferta poco abundante y poco estable en el tiempo.
DIACOL MONSERRATE	Posee un alto contenido de materia seca (alrededor del 23%), lo que hace que sea la variedad con mayor aptitud para el procesamiento industrial. Moderado contenido de azucares reductores. Rica en minerales y otros nutrientes. Su siembra esta en descenso a pesar de sus cualidades.
ICA ZIPA	Posee características útiles para el procesamiento Industrial (forma redonda, buen contenido de materia seca, pulpa blanca y facilidad de pelado). Tiene alto contenido de azucares reductores, razón por la que es poco usada en la industria alimenticia. Se descompone fácilmente.

Fuente: Información tomada de Moreno, 2000

#### 1.4.1 Descripción del Producto obtenido

Una vez concluido a partir de análisis estadísticos, la influencia del tiempo de secado en el contenido de humedad y la confianza en las mediciones para un mismo nivel de temperatura,

el tiempo para el diseño de la planta piloto puede ser seleccionado. Se seleccionan 75 minutos con base en que minimiza el tiempo de secado, mientras se mantiene en el límite permisible para la harina del 9% de humedad.

El análisis fisicoquímico se realizó en los laboratorios de Tecnimicro, para una muestra secada a 52°C durante 75 minutos, con una humedad experimental medida en la balanza OHAUS MB200 de 6,8%. En la tabla 1.19 se presentan las características fisicoquímicas tomadas del reporte presentado por el laboratorio. Este laboratorio realiza sus análisis según las normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC y la Association of Analytical Communities, por sus siglas en inglés A.O.A.C.

**TABLA 1.19**  
**Análisis fisicoquímico de harina de papa**

Análisis Fisicoquímico	Resultado
Humedad %	7,69
Cenizas%	2,05
Proteínas %	8,18
Grasas%	0,28
Calorías Kcal/100g	362,44
Carbohidratos %	81,8
Fibra Dietaria Total %	14,69
Fibra Dietaria Soluble%	0,95
Fibra Dietaria Insoluble %	13,74

Fuente: Datos tomados de Tecnimicro, 2008

La tabla 1.20, que muestra la proporción de nutrientes presente en el producto, permite ver

que el porcentaje de los principales componentes alimenticios de la papa se ve potencializado en el producto harina de papa, aumentando así su valor nutricional. La característica que más se resalta del producto de harina de papa obtenido, es su alto contenido de fibra, como se muestra en la tabla 1.20. La alta relación harina de papa/papa fresca para la fibra, puede deberse a que los laboratorios Tecnimicro, aunque discriminan el contenido de fibras, éstas se encuentran dentro de los carbohidratos, mientras que la tabla nutricional de la papa fresca, (tabla 1.6), reporta la fibra de manera independiente a los carbohidratos.

La fibra dietaria son carbohidratos no digeribles que regulan los procesos digestivos. Las fibras dietarias insolubles aseguran una actividad intestinal normal, aumentan el volumen de las heces fecales y los movimientos intestinales, ayudan a contrarrestar enfermedades como las hemorroides, el cáncer de colon y el estreñimiento. Las fibras dietarias solubles, consumidas en cantidades adecuadas, regulan los niveles de glucosa en la sangre y reducen el colesterol. (Nestle, 2006) Este alto contenido de fibra, logrado en gran medida con el procesamiento de la papa con cáscara, donde se encuentra aproximadamente el 48% (Rayas y Romero) de la fibra del tubérculo, es la característica que más se resalta de la harina de papa obtenida, cuando se compara con otras harinas de papa que aparecen en la literatura.

**TABLA 1.20**  
**Porcentajes de nutrientes principales en papa fresca y en harina de papa**

Elemento o Compuesto	Papa Fresca	Harina de papa	Relación Harina de papa/papa fresca
Proteínas	1,9	8,18	4,31
Grasas	0,1	0,28	2,80
Carbohidratos	19,3	81,8	4,24
fibras	2,2	14,69	6,68

En la tabla 1.21 se presenta el análisis microbiológico realizado en los laboratorios de Tecnimicro, donde se concluye que la muestra analizada está conforme con las especificaciones microbiológicas establecidas por las normas colombianas, para este tipo de alimentos.

**TABLA 1.21**  
**Análisis microbiológico de harina de papa**

Análisis Microbiológico	Resultados
Recuentos de Aerobios mesofilos UFC/g	360
Recuentos de mohos y levaduras UFC/g	1900 tipo levadura
NPM Coliformes totales/g	9
NPM oniformes fecales /g	<3
Detección de Escherichia coli/g	Negativo
Recuento de Bacillus cereus UFC/g	<100
Recuento de Estafilococos coagulasa positiva UFC/g	<100
Detección de Salmonella/25g	Negativo

Fuente elaboración propia, datos tomados de Tecnimicro, 2008

La actividad de agua indica la fracción de contenido de humedad total de un producto que está libre y, en consecuencia, disponible para el crecimiento de microorganismos y para que ocurran diversas reacciones químicas que afectan su estabilidad.

La actividad de agua del producto se midió en los laboratorios de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Lasallista, en el equipo Aqua Lab. Series 3TE, a temperatura ambiente, 24,8°C.

En la tabla 1.22 se observa que no existe diferencia significativa entre las mediciones. A estos valores de actividad de agua, la muestra

se encuentra libre del crecimiento de levaduras, mohos, microorganismos y hongos, lo cual sucede para actividades de agua de 0,8 - 1. También se encuentra exenta de las reacciones enzimáticas (descomposición de grasas y reacciones de oscurecimiento), que suceden en el intervalo 0,65 - 0,8. Para la actividad de agua actual de 0,429, el producto está sujeto a reacciones no enzimáticas de oscurecimiento y autoxidación (Desrosier, 1973). La posibilidad de ocurrencia de una reacción deteriorativa en el intervalo en que se encuentra el producto, se ve disminuida por el pretratamiento de escaldado, en solución antioxidante de ácido cítrico y ácido ascórbico.

**TABLA 1.22**  
**Resultados de actividad de agua**

Ensayo No	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Desviación estandar
Actividad de agua (a <sub>w</sub> )	0,429	0,427	0,429	0,001

El valor de actividad de agua, sugiere que el producto puede ser almacenado por un buen periodo de tiempo, en cuanto a los efectos nutricionales del almacenamiento, la harina de papa puede ser almacenada hasta por 6 meses, sin que ocurran efectos adversos significativos en sus nutrientes. Esto para un almacenamiento al aire libre o refrigerado (Misra y Kulshrestha, 2003).

#### 1.4.2 Características finales del Producto

El producto que se selecciona para este proyecto es la harina de papa, por su versatilidad de usos y porque ayuda a resolver el problema de la disposición de papas de segunda o descarte. El código alimentario argentino define la harina de papa en su artículo 685 como “el producto obtenido moliendo finamente los tubérculos pelados y desecados del *Solanum Tuberosum L.*, la que presentará como máximo un contenido de agua del 12 % a 100-105° C” (Código Alimentario Argentino).

El contenido de humedad apropiado de la harina de papa para su conservación está entre 6 y 9%. En condiciones de almacenamiento favorables (una bodega seca y fresca), la harina de papa puede ser almacenada durante varios años sin que sufra deterioro alguno (Palacio, 1997). Por estas razones junto con las sugeridas por la

normatividad alimentaria Argentina, se establece una humedad máxima del 9%.

La materia prima para la producción de harina de papa consiste principalmente en papas de descarte o segunda (papas pequeñas) (Copley *et al*, 1973, Brennan, 2006). Según la Norma ICONTEC No. 341 la clasificación de la papa de consumo en Colombia es la que se presenta en la tabla 1.23.

**TABLA 1.23**  
**Clasificación de papa de consumo**  
**según tamaño**

Denominación	Diámetro (mm)
Muy grande	>90
Grande	65-90
Mediana	45-64
Pequeña	30-44

Fuente: datos tomados de Icontec, 1987

En la tabla 1.24 se muestran los productos de papa deshidratada más comercializados, junto con su descripción y usos alimenticios. El almidón o fécula de papa, aunque su proceso de elaboración incluye una etapa de secado, no se considera dentro de estos productos.

**TABLA 1.24**  
**Principales características y usos de los productos de la papa deshidratada**

PRODUCTO	DESCRIPCIÓN	USOS
Tajadas y cubos de papa deshidratada	Papa deshidratada en forma de cubo o tajada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingrediente de enlatados de carne.</li> <li>• A nivel institucional son de gran utilidad en la elaboración de platos preparados en grandes cantidades.</li> </ul>
Hojuelas de papa	Papa cocinada y deshidratada en forma de pequeñas hojuelas que se rehidratan fácilmente en puré de papa, al añadirsele agua caliente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingrediente para el puré de papa instantáneo.</li> <li>• Ingrediente para platos tanto frescos como congelados tales como papas guisadas y croquetas.</li> <li>• Ingrediente para productos de panadería.</li> <li>• Ingrediente en la fabricación de snacks.</li> </ul>
Copos y gránulos de papa	Papas precocinadas y deshidratadas en forma granular, que pueden ser fácilmente convertidas en puré de papa al ser mezcladas con un líquido caliente o en ebullición.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ingrediente para el puré de papa instantáneo.</li> <li>• Ingrediente para la fabricación de snacks</li> <li>• Ingrediente para platos tanto frescos como congelados tales como: papas guisadas y croquetas.</li> <li>• Como aditivo Alimentario</li> </ul>
Harina de papa	Producto obtenido de la molienda fina de la papa deshidratada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coingrediente en productos de carne.</li> <li>• Ingrediente en la industria de los snacks.</li> <li>• Ingrediente para panadería y repostería.</li> <li>• Ingrediente para concentrados de alimentación animal.</li> <li>• Espesante de sopas.</li> </ul>

Fuente: Datos tomados de Copley *et al*, 1973; Treadway, 1952; Páginas Web de empresas dedicadas a la venta de productos de papa deshidratada

## 1.5 EVALUACIÓN DEL PROCESO

### 1.5.1 Diseño del Proceso

Muchos de los productos descritos en la tabla 1.24 poseen similitud en cuanto a sus aplicaciones, semejanza muy notoria para los gránulos y las hojuelas. Las diferencias entre

productos radican en los procesos y en los equipos utilizados, aunque un mismo equipo de secado puede ser útil para la obtención de más de un producto deshidratado de papa. En la tabla 1.25 se presentan los equipos más utilizados para la obtención de los productos de la tabla 1.24.

**TABLA 1.25**  
**Principales equipos utilizados para la obtención de productos deshidratados**

Productos	Equipos más utilizados
Cubos de papa deshidratada	Secadores de túnel Secadores de deshidratación osmótica Secadores de transportador Secadores solares
Tajadas de papa deshidratada	Secadores de transportador Secadores de bandejas Microondas Secadores solares
Hojuelas de papa	Secadores de tambor
Copos y gránulos de papa	Secadores neumáticos (flash) Lechos fluidos
Harina de papa	Secadores solares Secadores de tambor Secadores de tubo con vapor Secadores de bandejas Secadores neumáticos (flash)

Fuente: Datos tomados de Brennan *et al*, 1980; Copley *et al*, 1973; Mujumdar, 2006.

## 1.5.2 Evaluación Técnica del Proceso

### 1.5.3 Secadores solares

El secado solar es el proceso por medio del cual la energía del sol se aprovecha para los procesos de secado. El producto puede estar expuesto directamente a la radiación solar o la energía solar puede ser almacenada en colectores para calentar aire, que posteriormente se usa para secar los productos por convección. (Brennan, 2006)

Los secadores solares son comunes en la deshidratación de papa, así se produce la harina de papa del proyecto SOTEC, en la India. Además, es la técnica de secado por excelencia para la elaboración de Chuño, en el Perú, para el cual la exposición solar es directa.

Las condiciones de secado en un secado solar con exposición directa no son controlables (Brennan *et al*, 1980) Los tiempos de secado son prolongados y el producto se encuentra expuesto a los cambios de clima, insectos y otros animales, pudiendo estropearse antes de alcanzar la humedad deseada. (Brennan, 2006) Una opción para los anteriores inconvenientes, es cubrir el alimento con una estructura de vidrio o plástico, a través de la cual pasa la radiación solar. El producto que se va a secar se coloca sobre una estantería que recibe aire caliente por convección natural. Este sistema se le puede mejorar su capacidad incorporando colectores solares, que proporcionan el aire caliente para el secado. (Brennan, 2006).

### 1.5.4 Secadores de tambor

Un secador de tambor, es un secador indirecto que consta de uno o más cilindros calentados internamente con vapor y que giran sobre ejes horizontales (Brennan, 1980) Para el secado de papa se utilizan secadores de tambor con un solo cilindro. Las papas cocinadas se alimentan en el

rodillo de esparcimiento superior y se distribuyen uniformemente por medio de un tornillo sin fin. En cada rodillo se forma una capa de puré de papa formando una lámina en la superficie caliente del cilindro en movimiento. Una cuchilla que mantiene contacto con el cilindro remueve la lámina seca de sólidos de papa, la cual luego se pasa a un molino de martillos donde se lleva al tamaño deseado. (Copley *et al*, 1973)

### 1.5.5 Secadores de tubos con vapor

Secador continuo e indirecto, consiste en un caparazón cilíndrico ligeramente inclinado de 1 a 5° horizontalmente, para facilitar el transporte del material húmedo en el interior. El caparazón tiene un número simétrico de tubos con vapor, que giran junto con él. El alimento húmedo entra por la parte superior de caparazón y da vuelta alrededor de los tubos con vapor, secándose de esta manera. La humedad es removida por una corriente de aire que entra en sentido contrario al flujo del producto. (Mujumdar, 2006) La papa se alimenta de forma triturada a este equipo y es común añadir al alimento húmedo producto ya seco para evitar la cocción y la formación de bultos en los tubos calientes (Copley *et al*, 1973).

### 1.5.6 Secadores de bandejas

Un secador de bandejas a presión atmosférica y discontinuo, también llamado horno con compartimientos, consiste en una o más cámaras o compartimientos donde se ubican las bandejas con el producto a secar. El secado se realiza con gases caliente, generalmente el aire, el cual se sopla sobre las bandejas mediante uno o más ventiladores (Nonhebel y Moss, 1979).

Los secadores de bandeja poseen un costo operativo alto, porque requieren de gran cantidad de mano de obra, se usa para producciones inferiores a 50 Kg./h. (Nonhebel y Moss, 1979) o para plantas piloto (Fellows, 2000). Se utilizan en aplicaciones versátiles, como la industria

alimenticia, donde se deben secar diversos tipos de productos, ya que estos secadores son aptos para secar prácticamente cualquier material, poseen la ventaja de tener bajos costos de mantenimiento.

Se recomienda una velocidad para el aire en circulación de 1-10 m/s para mejorar la transferencia de calor. Las bandejas pueden ser cuadradas o rectangulares con una superficie de 0,5 a 1 m<sup>2</sup>/ bandeja (Perry *et al* 1992). Para un flujo transversal se utilizan velocidades de aire de 2 - 5 m/s (Brennan, 1980).

Con el nombre harina de papa también se conoce el producto obtenido moliendo tajadas de papa deshidratada, generalmente secadas por contacto con aire caliente en secadores de bandejas (Copley *et al*, 1973).

### 1.5.7 Secadores flash

En este secador las partículas sólidas se secan mientras se transportan en un ducto con aire caliente, con suficiente longitud para proporcionar el tiempo necesario para el secado. Las partículas se separan del aire por ciclones o por filtros. Los tiempos de secado son cortos, entre 0,5 y 3,5 segundos. Si se debe remover humedad interna, los tiempos son mayores. Los granos y harinas son los principales productos secados en este equipo.

### 1.5.8 Equipo seleccionado

Debido al poco control sobre las variables del proceso, se descarta el equipo de secado solar. El tiempo de exposición del sólido al calor permite hacer un estimativo de la magnitud del material que puede ser procesado en estos equipos, estos tiempos se muestran en la tabla 1.26.

Los secadores flash, poseen tiempos de residencia muy cortos, y se utilizan para operaciones en continuo, requieren grandes inversiones, que no justifican si se trata de pequeñas escalas de producción. (Changzhou, 2008) De igual manera sucede para los secadores de tambor, cuyo bajo tiempo de residencia también denota el carácter continuo de su funcionamiento.

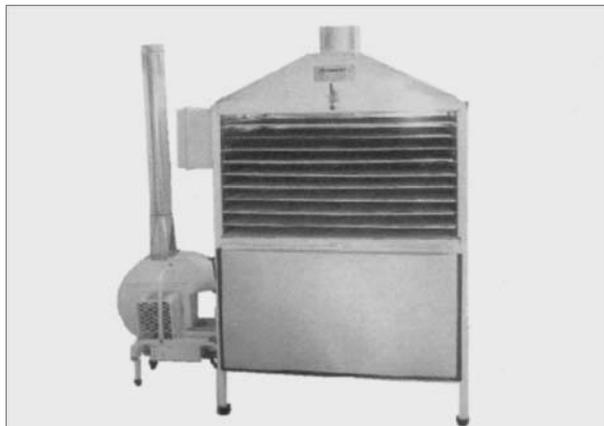
Los secadores de tubos con vapor, también son continuos, y se recomiendan especialmente en los casos en que el producto no puede entrar en contacto con gases calientes, problema que no posee la papa. En consecuencia, el secador escogido es un secador de bandejas, que posee versatilidad, facilidad de operación y se recomienda para plantas piloto, a pesar de sus conocidos inconvenientes de requerimiento de mano de obra. En la figura 1.6 se presenta una imagen de un secador de bandejas disponible en la industrial nacional.

**TABLA 1.26**  
**Exposición del sólido a condiciones de calor**

Secadores	Tiempos típicos de residencia dentro del secador				
	0-10 (s)	10-30 (s)	5-10 (min)	10-60 (min)	1-6 (h)
Secador de tambor		X			
Secador tubos con vapor				X	
Secador de bandejas					X
Secador Flash	X				

Fuente: Datos tomados de Mujumdar, 2006

**FIGURA 1.6**  
**Secador de bandejas**



Fuente: Vibrasec S.A, 2007

## 1.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR

### 1.6.1 Factores económicos del proceso

El análisis económico se basa en costos de inversión y flujos de caja para una proyección de 5 años comprendidos entre los años 2010 y 2015. Para una producción constante en el tiempo de 27.359,9 Kg. de harina de papa anual.

#### 1.6.1 Factores económicos del Proceso

Las materias primas como el ácido cítrico, ácido ascórbico, agua e hipoclorito de sodio, poseen precios estables. No es el caso de la papa cuyos precios tienen un carácter nacional y, aunque en Antioquia hay cosecha prácticamente todo el año, lo que más influencia los precios en el mercado antioqueño, son las condiciones climáticas en los departamentos de Boyacá y Cundinamarca, donde las heladas y las precipitaciones hacen que disminuya la siembra. Esto sucede en el primer semestre del año, donde se presentan precios altos. En el segundo semestre los precios son más bajos por haber mayor cosecha en el país.

El ciclo vegetativo de la papa DIACOL CAPIRO es de 5 a 6 meses, pero los agricultores siembran de tal manera que tengan suministro en todos los meses del año. En épocas de alta demanda, aún la papa de segunda o descarte se torna costosa (Ríos, 2009). Por lo cual parte del éxito de la empresa depende de tener lugares apropiados de almacenamiento. Las papas se pueden almacenar hasta 8 meses, para lo cual debe inhibirse su proceso de brotación mediante inhibidores químicos. Hasta unos cinco meses las papas pueden almacenarse a condiciones de 8°C, en humedades entre 80 y 90% (Redepapa, 2005).

Según información del Centro de Acopio de Papa, en el municipio de la Unión, se han almacenado papas por cerca de un mes y medio, sin que sufran pérdidas significativas de calidad. Cabe resaltar que el acopio de papa se encuentra a 8°C, y con la humedad aproximada del municipio, 75%. La temperatura se logra sin ningún sistema de enfriamiento, gracias a la arquitectura cónica del acopio.

El precio de la papa se supone constante de \$450/kg, que es aproximadamente su costo de producción de \$448,12 (Villareal, 2008). El precio pagado al agricultor por esta papa, es significativamente mayor que el que se paga a los agricultores del Perú, donde se les retribuye con 0,2 soles/Kg., aproximadamente el 72,5% del costo de producción, 0,276 soles/kg. En pesos colombianos ambos valores corresponden a \$158 y \$218.

El ácido cítrico y ascórbico, y el hipoclorito de sodio, son precios de Protoquímica S.A.

El precio del agua, es el costo de la Empresa de Servicios Públicos de la Unión, ESP.

El material de empaque está directamente asociado con la producción. La producción anual,

equivale a 109.439 bolsas de 250 gramos, presentación inicial prevista para el producto. A continuación se muestra el costo del material de empaque, en doble capa, donde la película en contacto con el producto es de polietileno de

baja densidad y la exterior es de polipropileno biorientado, para una protección adecuada del producto respecto a la humedad. El precio de las bolsas se obtuvo de Alico S.A.

**TABLA 1.27**  
**Costo anual de materias primas**

MATERIA PRIMA	Precio(\$/kg)	kg/ lote	kg/día	kg/año	Valor Anual Total (\$)
Papa	450,00	34,67	381,34	118.977,14	53.539.714,80
Solución hipoclorito de sodio	1.335,37	1,12	12,29	3.833,54	5.119.199,65
Agua	0,91	186,85	2.055,35	641.269,20	584.837,51
Acido cítrico	5.400,00	0,21	2,33	727,58	3.928.953,60
Acido ascórbico	53.900,00	0,07	0,78	242,30	13.059.926,88
Total Materias Primas					76.232.632,44

**TABLA 1.28**  
**Costo anual del material de empaque**

Material de Empaque	Cantidad	Valor unitario (\$/bolsa)	Valor total (\$)
Bolsa 250 gr	109.439	180	19.699.020

En la producción se necesitan 2 operarios por turno, para un total de 4 operarios diarios. A continuación se presenta el valor del pago contable de un empleado incluyendo el salario y los otros pagos pactados. (Portafolio, 2009) Esto para un operario que devengue el salario mínimo pautado por el gobierno. En la tabla 1.29, se muestran estos costos.

**TABLA 1.29**  
**Costo anual de mano de obra**

Mano de obra	Valor mensual (\$)	Valor anual (\$)
Operario 1	824.348	9.892.176
Operario 2	824.348	9.892.176
Operario 3	824.348	9.892.176
Operario 4	824.348	9.892.176
Total Mano de Obra		39.568.704

Los principales servicios industriales asociados a la producción son los energéticos. Dentro de la planta se consume energía eléctrica y gas propano para equipos como la marmita M-101 y el ventilador e intercambiador de calor VI-101. Un consolidado del consumo de energía se presenta en la tabla 1.30. El consumo detallado por equipo se presenta en la tabla 1.30.

**TABLA 1.30**  
**Costo anual de servicios industriales asociados a la producción**

Energía	Precio (\$ /Kwh)	kwh/lote	kwh/día	kwh/año	Valor Anual total (\$)
Energía eléctrica	289,00	1,52	16,72	5216,64	1.507.608,96
Gas propano	82,28	26,00	286,00	89232,00	7.342.008,96
Valor de servicios industriales					8.849.617,92

La tarifa de energía eléctrica industrial reportada por las Empresas Públicas de Medellín, para el municipio de la Unión es 289 \$/Kwh.

La tarifa para el Kwh. a partir de gas propano, reportada por las Empresas Públicas de Medellín es 82,28 \$/Kwh.

Los costos de capital incluyen tanto el costo de los equipos, como costos varios. En la tabla 1.31 se listan los equipos principales del proceso de producción de harina de papa, con su respectivo valor. Además se realiza una aproximación heurística del valor del sistema de tuberías, y se incluye una selladora para el cierre de las bolsas y una balanza medidora de humedad, para el control de humedad del producto terminado.

**TABLA 1.31**  
**Costo de capital inicial de equipos**

Código	Equipo	Valor (\$)
	Tuberías y accesorios (Heurística)	5.047.032
TK -101	Tanque de lavado (Cotización Metálicas González)	4.844.160
TK -102	Tanque de Enjuague (Cotización Metálicas González)	4.844.160
C- 101	Cortadora ( Cotización Tecnología y suministros)	6.790.000
M - 101	Marmita ( Cotización JOSERRAGO)	9.900.000
VI -101	Ventilador e intercambiador	
S- 101	Secador de bandejas (Cotización Vibrasec S.A)	15.080.000
	Juego de bandejas adicionales (Cotización Vibrasec S.A)	2.400.000
MI -101	Molino de Martillos (Cotización Metálicas Joliss)	6.612.000
	Selladora	400.000
	Balanza de humedad OHAUS MB 200 (Cotización Faxsa, México)	10.346.385
Costo total de equipos		66.263.737

Se destina una cantidad de \$10.000.000, la mitad para costos de inversión en muebles y enseres de la planta y la otra mitad para la construcción en el patio, de una bodega de almacenamiento de papa, emulando a una escala menor el centro de Acopio de la Papa de la Unión.

Los costos fijos constituyen el arriendo de un local de 180m<sup>2</sup>; los servicios públicos generales no asociados a la producción; mantenimiento de los equipos principales, equivalente al 7,5% de su

costo; un administrador, que devengara 2 salarios mínimos; un ingeniero de procesos, con 4 salarios mínimos y \$2.000.000 anuales se destinarán para gastos legales.

**TABLA 1.32**  
**Costos fijos anuales**

COSTOS FIJOS	Valor anual (\$)
Arriendo	6.060.000
Servicios Públicos	2.760.000
Administrador	19.784.352
Ingeniero de procesos	39.568.704
Mantenimiento	4.969.780
Gastos legales	2.000.000
<b>Total Costos Fijos</b>	<b>75.142.836,28</b>

El precio de venta se establece como \$2.400 pesos, para una bolsa de 250 gramos. Comparado con el valor al que puede importarse la harina de papa de la China, y del Perú, países que ofrecen este producto a valores económicos, se estaría cobrando aproximadamente el doble por gramo, que importado de la China, y 2,6 veces de lo que valdría el de harina procedente del Perú, producida por Sierra Exportadora. Cabe señalar que ambos países compran la papa de

segunda a menos del equivalente de 160 pesos colombianos. Mientras que bajo este proyecto se le pagaría al productor lo que le cuesta producirla, teniendo esto un fuerte impacto social.

Para ambas importaciones se debe contar con licencia de importación fitosanitaria expedida por el ICA y avalada por el INVIMA, junto con una composición detallada, requisito que no podría cumplirse con el producto de procedencia China, ya que el vendedor con el que se hizo contacto en la empresa Linyi Ruiqiao Import and Export Co., Ltda., afirma no tener tabla nutricional del producto y que ningún cliente lo había solicitado antes.

### 1.6.2 Resultados económicos

La harina de papa obtenida, estará enfocada a un mercado casero, lo que justifica la presentación escogida de bolsas de 250 gramos. Al ser comparado con otros productos de papa, como son los purés de papa deshidratados instantáneos de origen importado, que se encuentran en el mercado, y que a diciembre de 2008 tenían un precio aproximado de \$5.400 por 250 gramos, se percibe como un alimento económico.

**TABLA 1.33**  
**Ingresos anuales por ventas**

Tipo de bolsa	Bolsas/año	Precio/bolsa	Ingresos por ventas
250 g	109439	\$ 2.400,00	\$ 262.653.600,00

El Profit Margin se utiliza para evaluar la diferencia que existe entre el precio de venta del producto (harina de papa) y el costo de adquisición de las materias primas (papa, hipoclorito de sodio, ácido ascórbico, ácido cítrico y agua). Este valor sugiere que tan rentable es un proceso en términos económicos. (Turton *et al*, 2003)

$$\text{Profit Margin} = \sum \text{Productos} - \sum \text{Costo de materias primas}$$

$$\text{Profit Margin} = \$262.653.600 - \$76.232.632,44 = \$186.420.967,56$$

Para este caso se obtuvo un Profit Margin positivo de \$186.420.967,56 por año, lo cual indica la viabilidad del proyecto bajo un análisis preliminar, se requiere de una evaluación financiera más profunda para determinar la rentabilidad ya que un Profit Margin positivo no garantiza la rentabilidad del mismo.

**Tabla 1.34**  
**Resumen económico del proyecto base**

VPN	\$ 46,117,400.48
TASA	18%
TIR	41%

La evaluación del VPN, valor presente neto, es uno de los métodos más apropiados para la evaluación de proyectos. Un VPN mayor que cero, conlleva a la aceptación del proyecto y uno menor a su rechazo. Un proyecto con un VPN de cero, se considera técnicamente indiferente. El valor presente de la empresa en dinero actual es de de \$46.117.400,48, tal como se muestra en la tabla 1.34, prueba de las buenas proyecciones de la planta. Además de ser un proyecto económicamente atractivo, por poseer una tasa interna de retorno de 41%, permite pagar un precio justo a los agricultores por las papas de segunda.

A continuación se presentan tres casos de análisis de sensibilidad al proyecto.

**Caso 1**

Precio de la papa de segunda de \$160/kg. similar a lo que sucede en Perú y China.

**TABLA 1.35**  
**Resumen económico del proyecto en Caso 1**

VPN	\$ 124,079,481.69
TASA	18%
TIR	76%

En este caso al disminuir casi que a la tercera parte el precio del Kg. de papa, el proyecto sube su valor presente en \$77.962.081,21 y se alcanza una TIR del 76%, valores que aunque altos no sopesan el valor social de pagar a los agricultores el precio justo por sus cultivos, una de las razones del diseño de la planta.

**Caso 2**

Reemplazar ácido cítrico y ácido ascórbico, por solución bisulfito de sodio, para lograr una solución de escaldado al 1%, para un precio de bisulfito de sodio de \$4.700/kg.

**TABLA 1.36**  
**Resumen económico del proyecto Caso 2**

VPN	\$ 58,772,726.96
TASA	18%
TIR	47%

El bisulfito de sodio es de gran utilización en la industria alimenticia, se escogen el ácido cítrico y el ácido ascórbico como antioxidantes por tratarse de productos naturales, que no generan reacciones adversas en ciertos organismos, ni son detectables al gusto, a pesar de que el ácido ascórbico tiene un precio aproximadamente 11 veces mayor que el bisulfito de sodio. Reemplazar los ácidos cítrico y ascórbico por bisulfito de sodio, hace que el valor presente del proyecto aumente en \$12.655.326 es decir en un 27,44% y la TIR asciende a 47%. Aunque es una decisión atractiva de tomar, el producto perdería su categoría de natural, sin aditivos químicos, lo que podría resultar en la pérdida de un sector de mercado atraído por los productos libres de químicos.

**Caso 3**

El precio de la papa de segunda se incrementa de \$450 a \$550 /kg.

**TABLA 1.37**  
**Resumen económico del proyecto Caso 3**

VPN	\$ 19,233,924.21
TASA	18%
TIR	28%

La tabla 1.37, muestra como aunque el valor presente del proyecto se disminuye con un aumento del 20,7% del costo de la materia prima principal y la TIR desciende a 28%, el proyecto es capaz de soportar un alza de este tipo, situación que en determinado momento puede presentarse debido a la variabilidad del precio de la papa.

## 1.7 CONCLUSIONES

Dentro de los múltiples equipos empleados para el proceso de deshidratación de papa, se selecciona un secador de bandejas, por versatilidad; bajos requerimientos de inversión de capital y porque es el más utilizado en desarrollo de plantas piloto.

Por medio del análisis del entorno de los cultivos de papa en Antioquia, se encuentra que la papa Diacol Capiro es la de mayor cultivo, superando significativamente a la que le sigue en siembra, la variedad Ica Puracé. Para el diseño de la planta piloto se selecciona la variedad Diacol Capiro por su disponibilidad, por su gran uso a nivel industrial en el país y porque tiene mejor comportamiento que la otra variedad en el proceso de secado.

Las condiciones seleccionadas para el secador de bandejas en el diseño conceptual de una planta piloto de deshidratación de papa son: velocidad de aire, 2 m/s; temperatura del aire de secado, 52°C; configuración en tajadas con espesor de 3 mm y un tiempo de secado de 75 minutos.

Con el análisis microbiológico para el producto obtenido puede concluirse que es un alimento apto para el consumo humano, teniendo sus niveles de microorganismos analizados, muy por debajo de los límites permisibles admitidos por el Invima.

El proyecto es económicamente viable al presentar un Valor Presente Neto, VPN, superior a cero, de \$46.117.400,48 y una Tasa Interna de Retorno, TIR del 41%. Para su ejecución se requiere una baja inversión de capital, lo cual es atractivo para posibles inversionistas. La evaluación económica se realiza para un precio de papa de descarte justo para los cultivadores, lo que demuestra el carácter social del proyecto.





# Capítulo 2

## DISEÑO DE UN PROCESO PARA OBTENER HARINA A PARTIR DE LA OCARA DE SOYA

### 2.1 ANTECEDENTES

La demanda de leche de soya ha crecido en los últimos años, debido a que muchas personas sustituyen el consumo de leche de vaca por el consumo de esta leche de origen vegetal, no sólo por sus excelentes propiedades nutritivas, sino por su aceptación a nivel digestivo en personas que sufren de intolerancia a la lactosa.

A raíz de la problemática alimenticia que se vive en Colombia, el Comité Privado de Asistencia a la Niñez (Comité PAN), organización sin ánimo de lucro, busca contribuir con el desarrollo nutricional adecuado de los niños y jóvenes de bajos recursos económicos de la ciudad, a partir de la producción de leche de soya que es suministrada en los Restaurantes Escolares de Medellín.

En el proceso de producción de leche de soya se genera como subproducto la oca que, gracias a su contenido nutricional, puede tener varias aplicaciones para desarrollar otros

productos, buscando aportar más alimentos a su programa.

La oca es una fibra insoluble producida durante la molienda del frijón de soya, material significativo en volumen en las plantas de producción, de alto contenido proteínico y subutilizado en la industria de alimentos para consumo humano debido a su alto contenido de humedad, lo que hace que su tiempo de vida útil sea muy corto y se destine al consumo animal.

Por tal motivo se desea aprovechar dicho subproducto en la obtención de harina, lo cual puede proporcionar una alternativa a nivel industrial en la producción de alimentos para consumo humano.

Para ampliar la investigación, se desarrolla entonces su uso en la industria de la panificación, evaluando la aceptación de esta harina como sustituto parcial de la harina de trigo. No es recomendable sustituir totalmente la harina de trigo porque posee otras características, como

el contenido de gluten, no incluidas en la harina de soya, que son fundamentales en este tipo de industria.

## 2.2 CONCEPTUALIZACIÓN DEL PRODUCTO

La ocará es un alimento muy nutritivo, con una gran cantidad de proteína (6%), agua (80%) y sólidos totales (20%). Es un producto perecedero, porque contiene gran cantidad de agua. Se han realizado estudios para utilizarla como alimento para consumo humano y animal, empleándose para elaborar productos secundarios de panificación, embutidos, cereales, sopas, pastas, purés entre otros (Gómez, 2007).

Actualmente, los productores de leche de soya llevan la ocará a una secadora para eliminar parcialmente la humedad y transformarla en una fuente de alimentación para animales, rica en fibra y proteína. De esta manera se evita su almacenamiento y se deshacen del residuo (PAN, 2007).

En el PAN, la ocará que se produce en el proceso de producción de leche de soya sirve como materia prima para la obtención de diferentes productos como croquetas, almojábanas, pan y arepas que se destinan al consumo interno en los restaurantes de la institución. También se envía a la granja integral en el municipio de La Estrella, propiedad de PAN, donde se emplea en la alimentación de cerdos, que igualmente se destinan a los restaurantes de la institución. Por otro lado, la ocará se comercializa en algunas panaderías de la ciudad, pero esta actividad es limitada, debido al costo que implica el transporte, debido al alto contenido de humedad.

A pesar de que la empresa ha hecho un importante esfuerzo en generar diversas opciones para el aprovechamiento del subproducto, no se ha logrado una retribución económica significativa.

Por cada kilo de soya procesado se obtienen 1.2 kg de ocará húmeda. Diariamente se procesan entre 250 y 300 kg de soya, lo que quiere decir que semanalmente se utilizan entre 1.250 a 1.500 kg de soya y se obtienen de 1.500 a 1.800 kg de ocará, debido al proceso de hidratación inicial (PAN, 2007).

En Japón se patentó un proceso para la producción de leche de soya en el cual se mejora la etapa de pulverización de los granos previamente hidratados, con un dispositivo que tiene láminas giratorias, para obtener partículas con un diámetro promedio de 100  $\mu\text{m}$ , mucho menor que las partículas obtenidas mediante el proceso tradicional. Así se consigue una mezcla acuosa de soya, que permite separar la porción soluble en agua de la porción insoluble, para obtener la leche de soya y una ocará de sabor agradable (Takashi, *et al*, 1999).

### 2.2.1 Tendencias del Mercado

La soya es una leguminosa con un excelente valor nutritivo. Procesada con el grano entero, contiene cantidades considerables de fibra, pequeñas porciones de grasa saturada, y por su origen vegetal no contiene colesterol. Contiene más de un 40% de proteína y provee la mayoría de los aminoácidos indispensables para el organismo. Además, contiene hierro, calcio y varias vitaminas. Se recomienda incluir la proteína de soya, 20 a 25 gramos al día, en la alimentación de todas las personas (Takashi, *et al*, 1999).

Es una planta herbácea de la familia de las leguminosas, que alcanza de medio a un metro de altura. Sus semillas son esferoides, de unos 8 a 10 mm de diámetro, y crecen dentro de una vaina al igual que el frijol, lenteja y garbanzo, entre otras leguminosas. Ha sido definida como leguminosa-oleaginosa. Es leguminosa porque botánicamente tiene las mismas características de los granos incluidos en esa categoría y es

oleaginoso por su contenido de aceite, porque en sus estructuras se almacena una cantidad importante de aceite (Takashi, *et al*, 1999).

En la tabla 2.1 se presentan las cifras sobre la producción nacional y las importaciones de leche de soya:

**TABLA 2.1**  
**Volúmenes de Producción y de Importación de Soya (Arias L., 2008)**

AÑO	PRODUCCIÓN (Ton)	IMPORTACIONES (Ton)
2004	77.611	406.863
2005	61.600	356.150
2006	54.600	370.070
2007	52.900	332.064
Proy. 2008	62.995	-

### 2.2.2 Identificación de los Factores de Calidad

Se definen como harina aquellos productos alimenticios que resultan de la molienda y tamizado de cereales, semillas, algunas leguminosas y otras plantas. Industrialmente se pueden utilizar en su forma original o mezclada (compuestos). Usualmente en panificación se utiliza harina de trigo que resulta, según la norma ICONTEC 267/86 de la molienda del endospermo del trigo limpio, bajo requisitos y condiciones generales estipuladas en la misma. En algunos casos la harina de trigo se reemplaza por otras para producir las llamadas harinas.

Generalmente las harinas usadas en la fabricación de pan contienen más del 10.5% de proteína y 0.4 a 0.7% de ceniza, son harinas que presentan alta absorción y buena tolerancia al amasado, provenientes de trigos duros. Las

harinas usadas en pastelería son obtenidas de trigos blandos y usualmente contienen un mínimo de 0.5 de ceniza (Pardo, 1977).

Las características propias de la harina de trigo, indispensables para hornear y fabricar el pan, no permiten sustituir más del 50% en la formulación. En la tabla 2.2 se presenta la composición de la harina de trigo.

**TABLA 2.2**  
**Composición de la harina de trigo (Bennion, 1970; Gómez, 1969)**

Almidón	69 – 72%
Proteína	10 – 14%
Azúcares	1 – 2.5%
Grasa	1.25 – 2%
Sales Minerales	0.5 – 0.7%
Celulosa	0.25 – 0.3%
Humedad	13– 16%

El pan obtenido con la harina de Ocara se somete a evaluación para determinar comparativamente sus características físicas en relación con las de un patrón hipotético (pan producido 100% a partir de harina de trigo). Entre las características físicas están:

**Volumen.** Es el espacio ocupado por la pieza de pan. Un pan con volumen excesivo generalmente presenta un grano abierto y textura deficiente. Un volumen bajo puede deberse a la mala calidad del gluten o a una fermentación inadecuada.

**Color de la corteza.** Depende de la temperatura de horneado y la cantidad de azúcar residual en la masa. Un exceso de azúcar imparte un color oscuro debido a que la sacarosa no alcanza a fermentarse. Un color claro indica un bajo contenido de azúcar residual debido a una fermentación excesiva o a la omisión de azúcar en la fórmula.

El consumidor prefiere una corteza delgada y suave, que depende del uso de la cantidad adecuada de azúcar y grasa y una fermentación bien controlada.

**Quiebre.** Es la ruptura que se produce en la corteza a lo largo de la parte lateral superior, originada durante el crecimiento en el horno. El quiebre es importante en la apariencia de la pieza, deseándose un rompimiento uniforme.

**Simetría de la forma.** Ofrece un efecto agradable sobre la vista e indica que el pan ha recibido una fermentación adecuada y un horneado correcto.

**Uniformidad de horneado.** El pan ideal, de buena calidad, debe tener una corteza de grosor y color uniforme.

**Color de miga.** La determinación del color se debe hacer sobre cortes frescos, porque la miga tiende a oscurecerse después del corte. El color más deseable es blanco crema, libre de manchas y puntos.

**Grano.** Es la estructura de las celdas, tal como aparecen al cortar el pan. Existen varios atributos para evaluar su carácter: el grosor, forma y tamaño de las celdas.

**Textura.** Representa el grado de elasticidad o blandura y se determina por el sentido del tacto. La sensación producida por la miga puede ser descrita como aterciopelada, sedosa, suave, elástica o áspera, grumosa, desmoronable y pastosa. Entre más fina sea la estructura y paredes de la celda, la textura será más suave y elástica.

**Aroma.** Se determina por el sentido del olfato y representa un constituyente importante del sabor, por lo tanto debe ajustarse al gusto del consumidor. El olor puede ser característico de trigo, malta, dulce, agrio, mohoso, añejo o rancio.

**Sabor.** Característica que se determina por medio de las papilas gustativas de la lengua y la membrana bucal. Se refiere solamente a la sensación agria, salada, dulce y amarga.

El pan debe romperse fácilmente durante la masticación sin formar grumos difíciles de humedecer con saliva (Pardo, 1977).

## 2.3 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS DE PROCESO

Para desarrollar a partir de la harina de oca de soya se selecciona un producto de panificación. Esta selección se hizo teniendo en cuenta que en las instalaciones del Comité PAN hay disponible un horno para este tipo de aplicación que actualmente se encuentra subutilizado. El producto que se selecciona es uno de los que podría ofrecer el Comité a los niños en su alimentación.

### 2.3.1 Ensayos preliminares

Con base en las técnicas empleadas en la literatura y asesoría técnica se determinaron los siguientes parámetros de trabajo:

- Metodología para la filtración
- Equipos y tiempos posibles de experimentación para el secado

Se realizaron los ensayos preliminares para determinar las variables del proceso.

Para determinar la metodología empleada para filtrar la masa de oca se realizaron cuatro ensayos:

**Filtro prensado.** La masa de oca se intentó filtrar con ayuda de un filtro prensa. Este procedimiento se descartó porque para que la bomba de alimentación del equipo pueda succionar la masa, ésta debe disolverse en agua,

en una proporción de 1 kg de ocará por 3 litros de agua. Este procedimiento no es adecuado para el Comité PAN, porque la humedad original de la masa es leche de soya, que se perdería por la dilución y se pierde el interés de su proceso productivo. Además, el peso que pierde la masa en este procedimiento de filtración no es significativo (20%) en relación con otras metodologías.

**Centrifugado.** Este procedimiento también se descartó, porque por la naturaleza de la masa de ocará, al someterla a centrifugación, por el orificio por el cual debe salir el líquido retirado del sólido, salía leche de soya acompañada de masa de ocará, haciendo el procedimiento no sea apropiado para esta separación.

**Prensado hidráulico.** Este procedimiento tuvo buenos resultados, porque con una carga máxima de 6 KN, se logra retirar hasta el 40% del peso inicial de la masa dispuesta en el equipo. Este procedimiento no se eligió ni se continuó trabajando con él durante el proyecto porque, por el diseño del equipo, la leche de soya que se retira de la masa, se derrama y se pierde.

**Prensado manual.** Este procedimiento da muy buenos resultados, pues con la fuerza de una persona se puede retirar entre el 40 y el 50% del peso inicial de la masa. Este intervalo depende de la cantidad de masa que se disponga en el lienzo; entre menos masa se introduzca en él, es posible retirar mayor cantidad de humedad.

El prensado manual fue entonces el método seleccionado para realizar los demás ensayos de laboratorio del proyecto, teniendo en cuenta que permite la eliminación significativa de humedad y además es posible recuperar leche de soya, producto de interés del Comité PAN.

Para fines de aplicación industrial, se propone construir un equipo con prensado hidráulico según oferta de la empresa Vibrasec, que

permite recuperar la leche de soya y tiene las siguientes características:

Recipiente cilíndrico fabricado en lámina inoxidable calibre 12 tipo 304 con fondo cónico, salida con válvula de  $\frac{3}{4}$  y tapa circular del total del diámetro del cilindro asegurada por medio de chapetas o cierres rápidos para facilitar la operación de carga y descarga de la harina, este recipiente en su parte interna tendrá un filtro circular fabricado en lámina perforada inoxidable con diámetro 3mm, además tendrá instalado un disco interno en lámina  $\frac{3}{4}$  inoxidable y eje de 11/2" que servirá como pistón para prensar, en su parte exterior este recipiente irá montado en estructura en ángulo donde irá ubicado un gato hidráulico (vehicular) con una capacidad aproximada de 10 toneladas, y el cual será accionado por medio manual como las prensas hidráulicas, el cual permitirá ser manipulado fácilmente.

**Secado.** Para el caso del secado, se trabajaron dos equipos durante un mismo período de tiempo (5 horas), y empleando la misma temperatura (60°C), se evaluaron los porcentajes de humedad obtenidos en ambos casos para seleccionar el equipo más apropiado.

**Estufa eléctrica.** Este equipo permitió reducir el porcentaje de humedad al 18% después de 5 horas de secado.

**Deshidratador de alimentos.** El deshidratador Excalibur 2900 permitió reducir el porcentaje de humedad al 8.66% después de 5 horas de secado. Este resultado se debe a que por su diseño, tiene una mejor circulación del aire y el secador se mantiene cerrado durante todo el proceso.

En cada ensayo de secado se utilizaron láminas de polietileno de baja densidad con 150 gr. de masa de ocará de 0.5 mm. de espesor; que había sido previamente filtrada de forma manual.

Después de la operación de secado, ninguno de los ensayos presentó diferencias significativas en cuanto a sus características organolépticas.

La operación de molienda de la ocará seca da buenos resultados en cuanto a granulometría y rendimiento, porque el tamaño promedio de partícula cumple con los estándares para este tipo de materia prima (Diámetro promedio entre 0.6 y 0.45 mm) y el procedimiento tiene un rendimiento del 91.01%.

### 2.3.2 Diseño de Experimentos

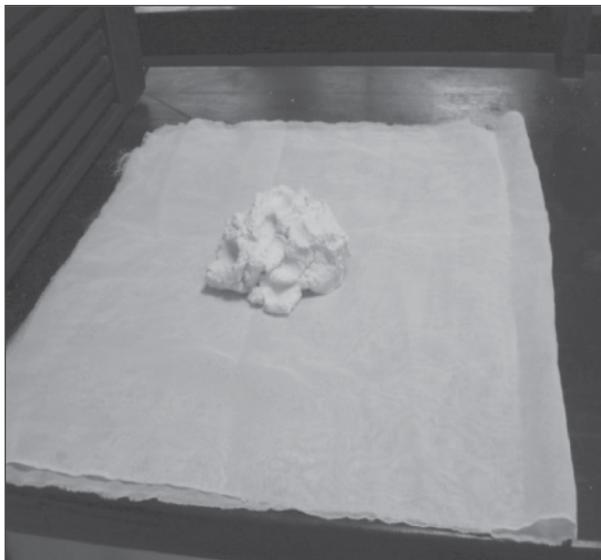
Se realizaron dos ensayos, en cada uno de los cuales se tomó 1 kilo aproximado de ocará de soja y se filtró manualmente con un lienzo común.

En las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 se puede observar la masa de ocará de soja antes, durante y después del proceso de filtración.

**FIGURA 2.1**  
**Ocará de soja recibida de la planta de producción de PAN (1 kg. aprox.)**



**FIGURA 2.2**  
**Ocará de soja antes de filtrado manual (330 gr. aprox.)**



**FIGURA 2.3**  
**Ocará de soja después de filtrado manual (200 gr. aprox.)**



La masa contenida en el lienzo corresponde a la tercera parte del peso de la masa inicial para facilitar el filtrado, por lo tanto, para cada ensayo se realizaron 3 filtraciones.

En ambos ensayos, la masa resultante de la filtración fue dispuesta sobre láminas de polietileno de 23 x 15 cm con un espesor de 0.5

cm., obteniendo 6 porciones de masa para llevar al deshidratador de alimentos. Se emplea una temperatura de 60°C para garantizar la conservación de las propiedades organolépticas y nutritivas de la masa, ya que al exceder una temperatura de 70°C, estas propiedades se pueden degradar.

Con los ensayos preliminares se logró establecer que el tiempo adecuado para lograr un porcentaje de humedad del 8.66% es de 4 horas. El procedimiento de secado se realizó por un tiempo de 5 horas en los dos ensayos para demostrar que este tiempo adicional no es necesario, porque la pérdida de peso entre las 4 y 5 horas es inferior al 0.5%, lo que no altera el porcentaje de humedad obtenido con las 4 horas de secado.

**FIGURA 2.4**

**Ocara de soya dispuesta en las láminas de polietileno para llevar al deshidratador de alimentos (90 gr. aprox.)**



Las hojuelas obtenidas del proceso de secado se llevan inicialmente a un proceso de licuado, con el fin de facilitar la operación de molienda, pues se cuenta con un molino de uso manual. Para la aplicación de este método en la industria, el procedimiento de licuado no es necesario porque los molinos son de funcionamiento automático, razón por la cual no se incluyó este paso en el proceso descrito para la obtención de la harina de ocará de soya.

En las figuras 2.4 y 2.5 se puede observar la masa de ocará de soya antes del proceso de secado.

En las figuras 2.6, 2.7 y 2.8 se muestra la ocará de soya después del proceso del secado y durante el proceso de molienda.

**FIGURA 2.5**

**Láminas de ocará de soya dispuestas para ingresar al deshidratador de alimentos**



**FIGURA 2.6**  
**Hojuelas de ocará de soja**  
**obtenidas del secado**



**FIGURA 2.7**  
**Hojuelas de ocará de soja previas al licuado**



**FIGURA 2.8**  
**Ocará de soja después del licuado y**  
**antes de la molienda**



Después del proceso de molienda, la harina se lleva a una serie de tamices para clasificarla según el tamaño promedio de las partículas. Para fines comparativos, se realizó esta clasificación granulométrica a la harina tanto antes de ser molida como después de este procedimiento. Cabe aclarar que para una aplicación industrial, sólo la segunda clasificación granulométrica sería válida, puesto que en ese caso saldría del deshidratador de alimentos directamente al molino. En este caso, para fines prácticos, se llevó primero a una licuadora y esa sería entonces la primera clasificación granulométrica listada. Además, el equipo de molienda que se sugiere más adelante, cuenta con un tamiz que permite clasificar la harina durante el proceso, dejando pasar solo las partículas que cumplan con el estándar establecido (diámetro promedio entre 0.6 y 0.45 mm; malla 40).

Una vez obtenida la harina de ocará de soja, se realizó un análisis fisicoquímico y microbiológico de dicha harina en el laboratorio Tecnimicro para comparar la calidad de la harina de ocará de soja con la harina de trigo.

Con la harina de ocará de soja obtenida, se procedió a conformar 3 muestras con diferentes porcentajes de harina de trigo y harina de ocará de soja. Estas relaciones se definieron después de considerar muestras en un intervalo más amplio de porcentajes (20%, 40%, 50%, 60%, 70% de harina de ocará de soja) y definir conjuntamente con el personal administrativo del Comité PAN un límite inferior por debajo del cual no se percibe la mezcla de las harinas y un límite superior por encima del cual el pan pierde sus características por la ausencia de gluten. Las muestras finales se hicieron con un 30%, 40% y 50% de harina de ocará de soja. Los demás ingredientes de los panes elaborados son los mismos para todas las muestras. Las cantidades de los ingredientes que se presentan a continuación son las necesarias para producir 20 panes tipo bola:

### Fórmula del pan

- Harina 1000 gr.
- Levadura 45 gr.
- Azúcar 80 gr.
- Sal 20 gr.
- Huevos 2
- Mantequilla 170 gr.
- Agua 250 ml

Teniendo en cuenta los valores reportados en esta fórmula, se tiene entonces las siguientes cantidades de las harinas:

**TABLA 2.3**  
**Cantidades de harina necesarias**  
**para cada mezcla**

Mezcla (Harina de trigo / Harina de ocará)	Harina de trigo (gr.)	Harina de ocara (gr.)
70 / 30	700	300
60 / 40	600	400
50 / 50	500	500

La evaluación consiste en un panel de degustación en el cual se califica el producto de acuerdo con su grado de satisfacción. Se pretende establecer hasta qué punto un consumidor desprevisto es capaz de degustar un pan elaborado con una mezcla de harina de trigo y harina de ocará de soya sin notar una diferencia significativa, comparado con un producto elaborado con una harina corriente.

Una vez horneados los panes, se evaluó el producto mediante pruebas organolépticas de apariencia, color, olor, textura y sabor con el personal administrativo de PAN. La idea inicial era evaluarlo con el público objetivo del producto, que son los niños atendidos por el Comité, pero teniendo en cuenta que el análisis microbiológico de una muestra de harina de ocará de soya presentaba cierta contaminación

debido al ambiente en el que se realizaron los experimentos, se sugirió realizar la prueba en personas adultas, ya que tienen sus defensas completamente desarrolladas, lo que no pasa con el público objetivo del producto.

### 2.3.3 Análisis de resultados

Las características escogidas para calificar el producto son propiedades que se consideran atributos. Se elaboró entonces una escala de calificación, para convertir estas características en variables medibles que permitan hacer comparaciones entre dos productos mediante un número, el cual va a tener un significado de la siguiente forma:

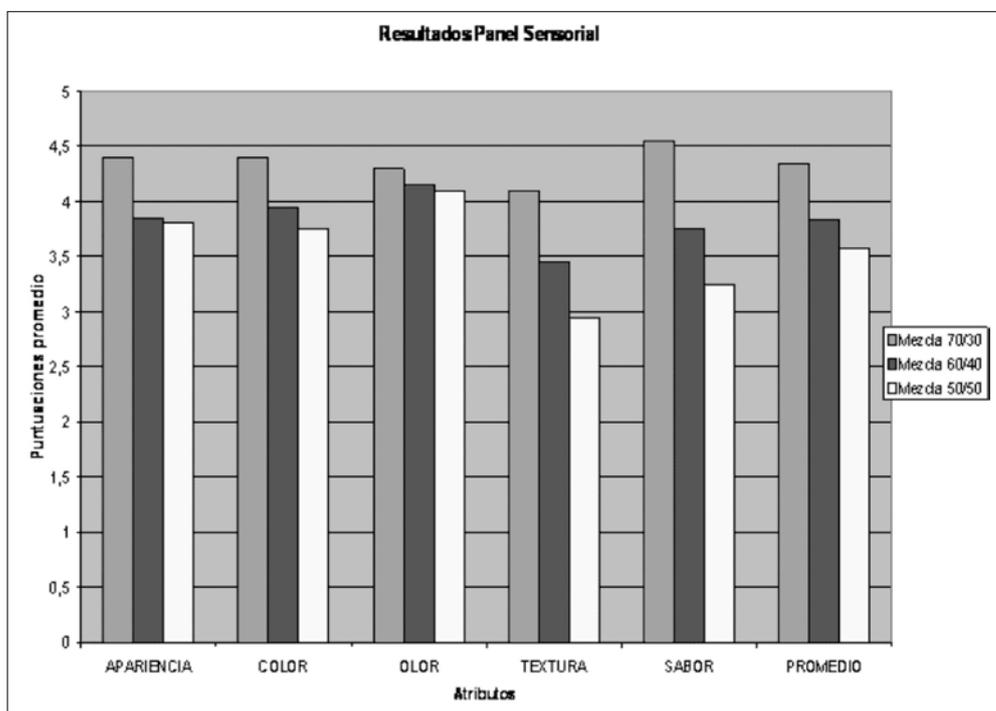
Escala Hedónica	Escala numérica
Le gusta mucho	5
Le gusta	4
Ni le gusta, ni le disgusta	3
Le disgusta	2
Le disgusta mucho	1

El análisis de la información resultante se llevó a cabo mediante el cálculo de los promedios de las respuestas de las 20 personas que participaron el panel sensorial para cada muestra. El resultado permitió establecer la aceptación de los panes con un porcentaje de harina de ocará de soya como sustituyente de la harina de trigo.

La información resultante se acompaña de un gráfico que ilustra los resultados de la prueba (ver figura 2.9).

Una vez determinada la mejor mezcla, representada por el pan de mayor agrado a los consumidores, se realizó un análisis físico-químico y microbiológico de dicha harina en el laboratorio Tecnimicro para comparar la calidad de la mezcla con la de la harina de ocará de soya y con la de la harina de trigo.

**FIGURA 2.9**  
**Resultados del Panel Sensorial**



Las características fisicoquímicas para evaluar la calidad del producto fueron: humedad, cenizas, proteína, nitrógeno, grasa, carbohidratos, calorías, cloruros, fibra dietaria total. Este análisis contempla la harina obtenida después de estandarizar y seleccionar el mejor método de obtención y la mejor mezcla de harina determinada después del panel de degustación. Los análisis fueron realizados por el Laboratorio de Análisis Tecnimicro.

Para evaluar la calidad sanitaria de la harina de ocara de soya, se realizó el siguiente análisis microbiológico:

Recuento de aerobios mesófilos, recuento de mohos y levaduras, coliformes totales, coliformes fecales, detección de *Escherichia coli*, recuento de *Bacillus cereus*, recuento de estafilococos coagulasa positiva y detección de *Salmonella*; con el fin de determinar si la harina es apta para

consumo humano. Todo esto fue realizado por el Laboratorio de Análisis Tecnimicro.

Adicional a este análisis, se realizó la prueba para determinar la actividad de agua de la harina de ocara de soya, en el centro de Laboratorios de La Corporación Universitaria Lasallista.

La actividad de agua (*aw*) es un parámetro que indica la disponibilidad de agua en un alimento para que existan reacciones químicas, bioquímicas (p.e. oxidación de lípidos, reacciones enzimáticas, reacción de Maillard) y desarrollo microbiano (Comaposada *et al*, 2000). Este parámetro indica las condiciones del alimento para favorecer el desarrollo bacteriano, de levaduras y mohos. Así, a valores elevados de *aw* (cociente que oscila entre 0 y 1), superiores a 0.98, la mayoría de los microorganismos encuentran condiciones óptimas de desarrollo. Por debajo de 0.87, se inhibe el desarrollo bacteriano y de

la gran parte de las levaduras y únicamente los mohos pueden proliferar.

El intervalo de actividad de agua (0.50-0.51) de las harinas extruidas corresponde a valores donde la actividad enzimática, crecimiento de microorganismos y reacciones químicas ocurren muy lentamente (Labuza, 1980), lo cual favorece una larga vida útil del alimento. Por esto la actividad de agua es un parámetro bastante usado como indicador para predecir la vida útil de un alimento.

## 2.4 EVALUACIÓN DEL PROCESO

Se propone obtener harina de la Ocara de soya mediante un proceso que incluye la filtración y posterior secado, teniendo en cuenta las variables tiempo y temperatura. Este producto debe tener un porcentaje de humedad y condiciones microbiológicas aptas para su uso en panificación.

Por sustitución parcial de harina de trigo por harina de ocará de soya, se debe fabricar un producto de panificación con buena aceptación.

El proceso de obtención de la harina consiste en la adecuación de cuatro procedimientos que intervienen en la transformación de la materia prima hasta obtener un polvo fino llamado harina.

### 2.4.1 Filtración

En el caso de la soya es el proceso más crítico, porque la ocará sale empapada de leche y no es posible filtrarla por los métodos tradicionales, a menos que se le adicione suficiente agua. Para filtrar la ocará y recuperar la leche de soya, la masa se extiende sobre un lienzo y mediante presión ejercida manualmente se retira cerca del 40% de su peso inicial. Así se recupera una buena cantidad de leche de soya.

### 2.4.2 Secado

El producto se extiende sobre láminas de polietileno de baja densidad, teniendo en cuenta que este material tiene muy buen comportamiento a la temperatura a trabajar ( $T = 60^{\circ}\text{C}$ ) y permite un mejor flujo de aire entre la masa de ocará y la lámina, en relación con otros materiales. Las láminas de polietileno se disponen sobre las bandejas del deshidratador de alimentos con aire forzado utilizado para la operación.

### 2.4.3 Molienda y tamizado

El producto seco se somete a molienda y luego se tamiza hasta obtener la harina para uso en pabificación, con un diámetro promedio entre 0,6 y 0,45 mm.

### 2.4.4 Diseño del Proceso

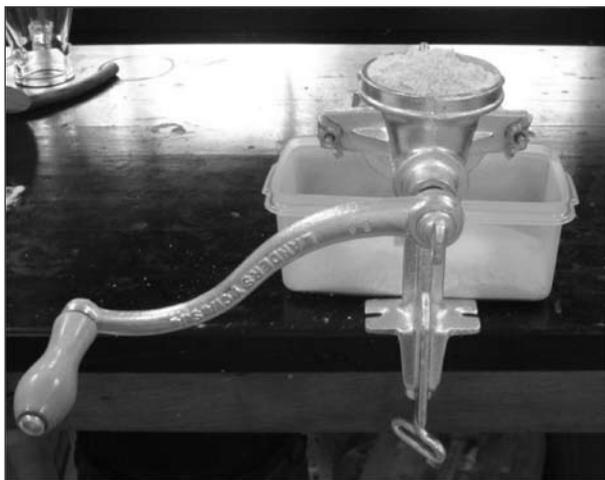
Para la deshidratación de la Ocará se emplea el mismo Deshidratador Excalibur 2900 empleado para el procesamiento de la papa.

El molino de discos empleado en la experimentación de este proyecto es un molino de uso doméstico marca Corona, que trabaja bajo el principio de frotación de dos discos y su fabricación es en acero ordinario. Uno de los discos es estacionario y el otro rota, mientras que en las máquinas de doble rotación ambos discos giran a alta velocidad en sentido contrario. La alimentación entra transportada por un tornillo sinfín a través de una abertura situada en el centro del disco fijo, pasa hacia afuera a través de la separación entre los discos y se descarga en un recipiente ubicado debajo de los discos.

Por lo menos una de las placas de molienda está montada sobre un muelle de forma que los discos pueden separarse si entra en el molino un material que no puede ser molido. Molinos provistos de diferentes tipos de estrías, rugosidades o dientes sobre los discos permiten una gran

variedad de operaciones incluyendo molienda, troceado, granulación y desmenuzamiento, así como también operaciones no directamente relacionadas con la reducción de tamaño, tales como mezclado (McCabe y Smith, 1981).

**FIGURA 2.10**  
**Molino de discos**



Este equipo fue empleado para la parte experimental de este proyecto, por la facilidad de su uso en el Centro de Laboratorios. Para una aplicación industrial y la evaluación de prefactibilidad económica de este proyecto, se plantea el uso de un molino de martillos, pues su operación tiene muy buenos resultados en cuanto a tamaño de partícula y como valor agregado de este equipo, su diseño permite incluir un tamiz que clasifica durante el proceso las partículas de harina de ocará que cumplen con los estándares para este tipo de material y las que no.

Los molinos de impacto o percusión son muy usados en la industria de los alimentos y en el caso de llevarse a escala industrial, este proceso podría utilizar este tipo de maquinaria. Tienen un rotor que gira a alta velocidad en el interior de una carcasa cilíndrica. El eje generalmente es horizontal. La alimentación entra por la parte superior de la carcasa, se trocea y cae a través de una abertura situada en el fondo. En un molino de martillos las partículas se rompen por una serie de martillos giratorios acoplados a un disco rotor. Una partícula que entra en la zona de molienda no puede salir sin ser golpeada por los martillos. Se rompe en pedazos, se proyecta contra la placa estacionaria situada dentro de la carcasa rompiéndose todavía en fragmentos más pequeños. Estas a su vez son pulverizadas por los martillos y son impulsadas a través de una rejilla o tamiz que cubre la abertura de la descarga (McCabe y Smith, 1981).

## 2.5 EVALUACIÓN TÉCNICA DEL PROCESO

Con los ensayos realizados se determinó que tanto el proceso de prensado hidráulico como el prensado manual dan buenos resultados, 40% en el primer caso y entre el 40% y el 50% en el segundo, intervalo que depende de la cantidad de masa dispuesta sobre el lienzo. Se seleccionó el sistema de filtrado manual, porque permite recuperar la leche de soya retirada de la masa de ocará, lo que no sucede con el prensado hidráulico, ya que por el diseño del equipo, la leche de soya se derrama por las paredes del mismo. En la tabla 2.4 se presentan los resultados del proceso de filtración.

**TABLA 2.4**  
**Datos definitivos de filtración manual**

	<b>Peso inicial de la masa (gr.)</b>	<b>Peso del filtrado (gr.)</b>	<b>Peso final de la masa</b>	<b>Porcentaje de peso perdido (%)</b>
<b>Ensayo 1</b>	1110	541.51	568.49	48.78
<b>Ensayo 2</b>	1068.8	509.39	559.41	47.66

Para una aplicación industrial y la evaluación económica de este proyecto, se sugiere un sistema de prensado hidráulico en forma de silo, utilizando el lienzo común empleado en la filtración manual, con el fin de recuperar las dos partes de interés. Este diseño es una propuesta de la empresa Vibrasec, después de presentarle la solución a escala de laboratorio, porque un filtrado manual a escala industrial no es viable por el costo de la mano de obra.

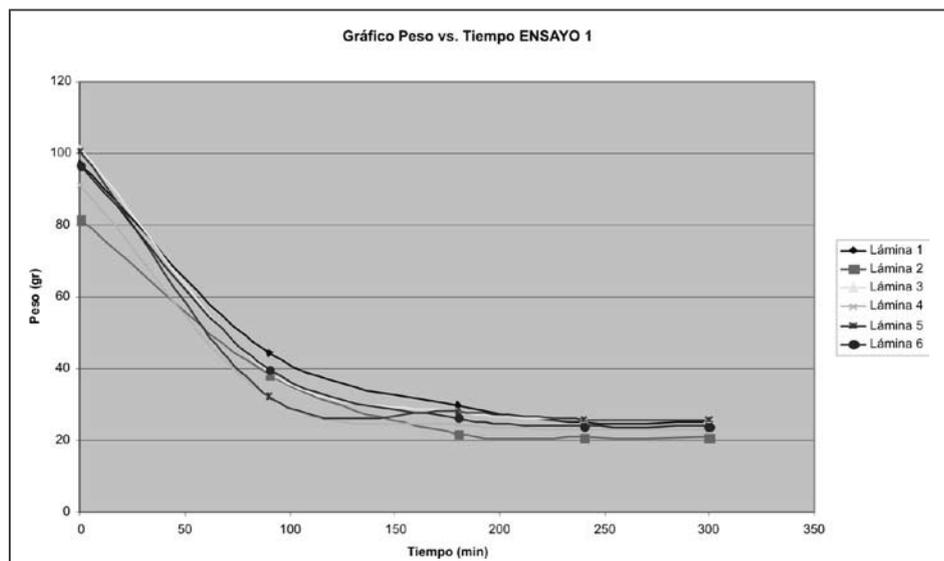
En cuanto al secado, en los ensayos preliminares se determinó que el equipo más apropiado para lograr el porcentaje de humedad requerido para el tipo de industria para la que se dirige la harina es el deshidratador de alimentos, porque logra un porcentaje de humedad del 8.66% en cuatro horas, mientras que la estufa eléctrica en un período de tiempo de 5 horas, apenas logra llevar la masa hasta un porcentaje de humedad del 18%.

La humedad inicial de la harina fue del 50% aproximadamente y su humedad final fue del 8.66%. Este fue el porcentaje de humedad que se fijó para realizar los ensayos y determinar el tiempo requerido para alcanzarlo, porque la

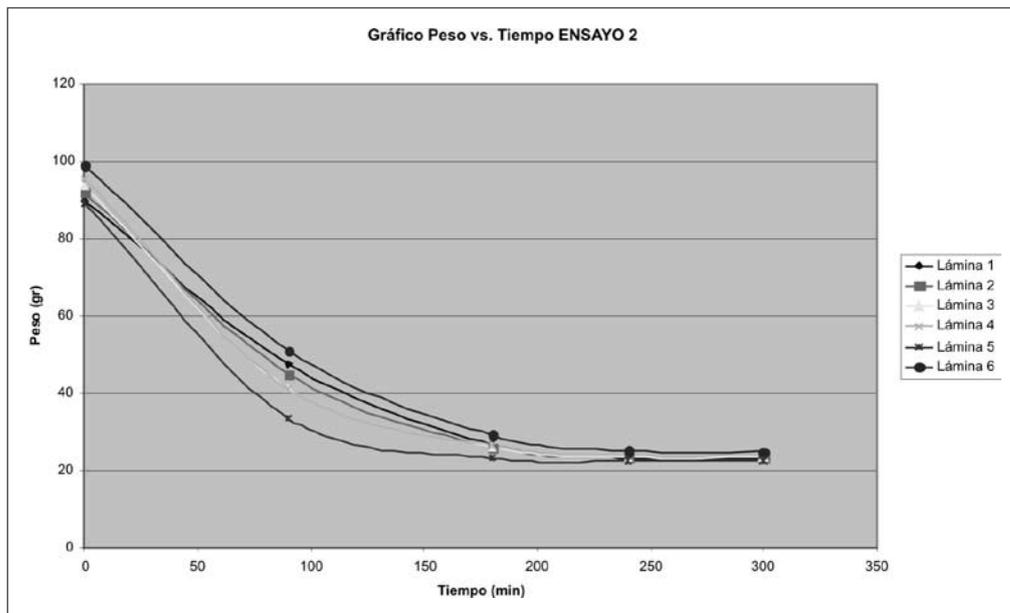
temperatura no era una variable a determinar, teniendo en cuenta que no debía superar los 70°C para garantizar las propiedades organolépticas de la harina, y se decidió trabajar 10°C por debajo de este parámetro para no poner en riesgo dichas propiedades.

Se realizaron dos ensayos para tener los datos por duplicado y asegurar que los resultados son replicables. En las figuras 2.11 y 2.12 se observa el comportamiento del peso durante el proceso de secado. Con el uso de estas gráficas se puede observar más fácilmente el comportamiento de la masa de oca de soja durante el proceso de secado, donde se muestra que en las tres primeras horas la pérdida de peso tiene un comportamiento exponencial con pendiente negativa, esto debido a que la masa de oca tiene mucha humedad retenida, facilitando el proceso de secado. Después de la tercera hora se puede observar que el proceso de secado tiende a estancarse y debido a que como ya no hay mucha humedad presente en la masa, con respecto al tiempo cero, se dificulta mucho eliminar pequeñas cantidades de peso, cantidades que son necesarias retirar para garantizar el porcentaje de humedad requerido.

**FIGURA 2.11**  
**Contenido de humedad en base húmeda (peso). Ensayo 1**



**FIGURA 2.12**  
**Contenido de humedad en base húmeda (peso). Ensayo 2**



Para evaluar el sistema de molienda, se hace el análisis de la granulometría de la harina por tamizado.

Con fines comparativos, para esta evaluación se le realizó tamizado tanto a la muestra obtenida después del proceso de licuado (lo cual no se aplicaría a nivel industrial debido a los molinos empleados a dicha escala) como a la muestra obtenida después de la molienda.

Con los resultados obtenidos en el análisis de granulometría por tamizado para la muestra

molido, se puede afirmar que esta harina es apta para procesos de panificación, porque sólo el 19% de la muestra empleada para el análisis obtuvo un tamaño promedio de partícula superior al establecido, porcentaje que puede ser sometido nuevamente al proceso de molienda para que cumpla con la especificación, con la cual se puede clasificar a la harina de oca de soja como una sémola fina (Madrid y Madrid, 2001).

En la tabla 2.5 se observan los resultados del análisis granulométrico por tamizado realizado a la muestra de harina de oca de soja.

**TABLA 2.5. Datos definitivos de granulometría por tamizado**

Tamiz	Abertura de la malla (mm)	Peso retenido (g) Sin moler	Porcentaje retenido (%)	Peso retenido (g) Molida	Porcentaje retenido (%)
30	0.6	25.99	46.56	10.51	18.98
40	0.425	17.75	31.80	30.3	54.73
60	0.25	10.39	18.61	11.52	20.81
80	0.18	1.18	2.11	2.31	4.17
Colector		0.51	0.91	0.72	1.3
Total		55.82	100	55.36	100

Ya se había sugerido que para la aplicación industrial de este proyecto se puede usar un molino de martillos, que trabaja automáticamente y no es necesario recurrir al proceso previo de licuado realizado en los ensayos de laboratorio y que además garantiza el tamaño promedio de las partículas de la harina porque posee un

tamiz en su interior que sólo deja pasar la harina que cumpla con los parámetros establecidos.

Para el panel sensorial los resultados de los promedios calculados a partir de los puntajes obtenidos de 20 personas se presentan en las tabla 2.6.

**TABLA 2.6**  
**Resultados del panel sensorial**

Muestra	Calificación promedio					
	Apariencia	Color	Olor	Textura	Sabor	Promedio
Muestra 1 (70/30)	4.4	4.4	4.3	4.1	4.55	4.35
Muestra 2 (60/40)	3.85	3.95	4.15	3.45	3.75	3.83
Muestra 3 (50/50)	3.8	3.75	4.1	2.95	3.25	3.57

Los resultados de los promedios para las cualidades, expresan que las muestras 2 y 3 es decir, aquellas cuyo contenido de harina de ocará de soya es del 40% y 50% respectivamente, tuvieron una aceptación menor a la muestra 1 en todas sus cualidades.

Las muestras 2 y 3 tienen puntuaciones muy similares en los aspectos de apariencia, color y olor, pero las características de textura y sabor se afectan con el aumento del porcentaje de la harina de ocará de soya.

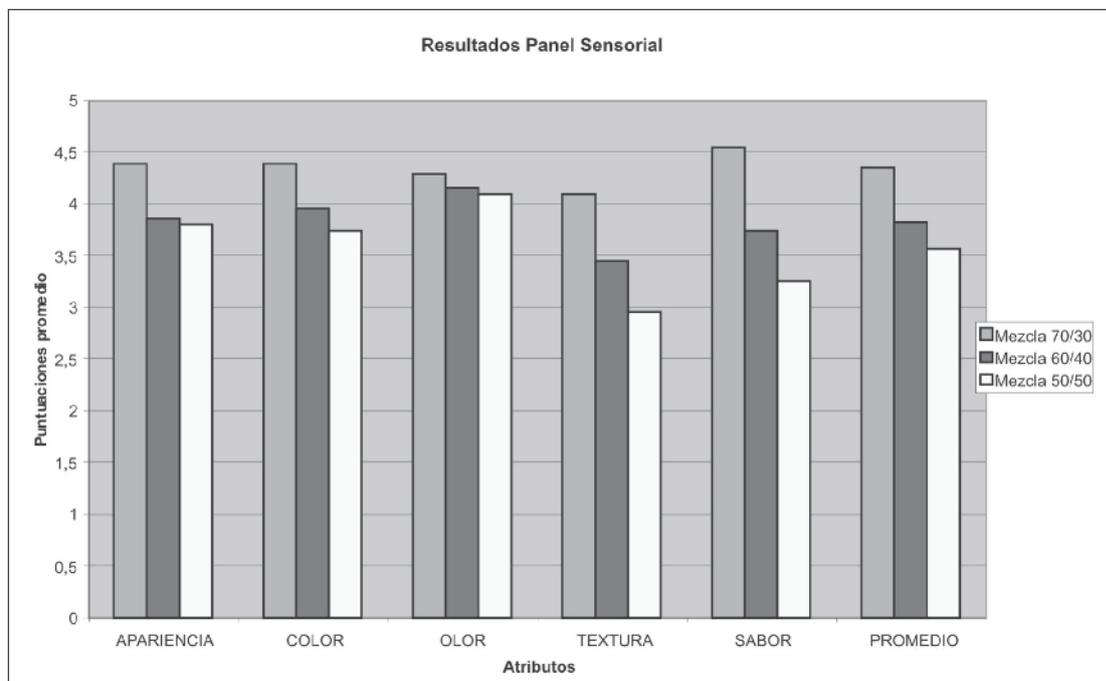
Con estos resultados, se puede concluir que el pan que tuvo mejor aceptación es elaborado con

la mezcla 70% harina de trigo y 30% harina de soya, con un promedio de calificación de 4.35.

Obsérvese que según el análisis anterior, mientras más cantidad de harina de ocará de soya se adicione a la mezcla, las propiedades evaluadas van en detrimento de su calidad, siendo parámetros que influyen en el momento de tomar una decisión acertada a favor de un producto, porque determinan en última instancia la aceptación o no del consumidor.

En la figura 2.13 se observan gráficamente los resultados del panel sensorial realizado.

**FIGURA 2.13**  
**Gráfico de resultados del panel sensorial**



Tanto a la muestra de harina de ocará de soja como a la muestra número 1 del panel sensorial (mezcla 70/30), se les realizó el análisis fisicoquímico basado en los métodos empleados por las industrias harineras para evaluar su calidad con respecto a la harina de trigo. En la tabla 2.7 se presenta el comparativo de las propiedades fisicoquímicas de los tres tipos de harinas.

La propiedad nutritiva que más resalta dentro de los resultados obtenidos para la harina de ocará de soja es su contenido de proteína (37.42%), el

cual está muy por encima del valor reportado para la harina de trigo de uso común en panificación (10-14%), lo cual favorece la implementación parcial (30%) de esta materia prima dentro de la formulación de productos de panificación. Este valor se ve considerablemente reducido en la mezcla de harinas 70/30 (19.40%), pues la participación de la harina de ocará de soja es baja en este caso, sin embargo aumentar esta participación afecta las características organolépticas del producto final, por lo cual se debe conservar la proporción establecida.

**TABLA 2.7**  
**Análisis fisicoquímico comparativo de las diferentes harinas**

Análisis fisicoquímico	Harina de trigo 100%	Harina de ocará de soja 100%	Mezcla 70/30
Humedad (%)	12 – 14	8.66	8.9
Cenizas (%)	0.5 – 0.7	2.51	1.27
Proteína (%)	10 – 14	37.42	19.40
Grasa (%)	2 – 3	12.78	5.15

Al mezclar la harina de oca de soja con harina de trigo se disminuye el porcentaje de gluten en la mezcla. Esta disminución del gluten, que cambia las propiedades organolépticas del producto, no permite aumentar el contenido de harina de oca en la mezcla por encima de los valores utilizados para el panel de degustación, aunque se aumenta el contenido de proteínas. El gluten de la harina de trigo permite formar una red tridimensional que engloba las moléculas de CO<sub>2</sub> producidas durante la fermentación, dando como resultado el crecimiento de la masa. Además permite que las moléculas del almidón no se disocien del producto en el momento del amasado (Madrid y Madrid, 2001).

La harina de oca de soja tiene un contenido de cenizas del 2.51%, muy superior a la norma del Invima, que recomienda un máximo del 0.7%. Aunque este factor no es una guía de la calidad panificable de la harina, si refleja el grado de refinación de la harina, mostrando que el producto obtenido de la oca es de muy baja refinación. En consecuencia, entre menor sea la sustitución de harina de trigo por harina

de oca de soja, se logra mayor refinamiento de la harina para su uso en panificación.

Del cuadro comparativo de los valores del análisis a la mezcla de harinas, 70/30, se puede concluir que es la proporción más recomendable, porque entre mayor sea la sustitución de harina de trigo por harina de oca de soja, mejores serán las propiedades nutritivas de la harina.

Para el análisis microbiológico, los resultados de la harina de oca de soja son aceptables, excepto en el recuento de aerobios mesófilos y de mohos y levaduras, debido a la pérdida de la cadena de frío durante el transporte de la masa, al almacenamiento no adecuado de la oca de soja y a los contaminantes del ambiente de trabajo disponible para los ensayos de laboratorio. Sin embargo, esto no lo hace inaceptable para el consumo humano ya que los parámetros que implican su rechazo están dentro de las especificaciones o no se registra su presencia (coliformes fecales, *Escherichia coli* y *Salmonella*) La Tabla 2.8 presenta los resultados de acuerdo con la referencia Invima para harinas precocidas de cereales.

**TABLA 2.8**  
**Análisis Microbiológico de la harina de oca**

<b>Análisis microbiológico</b>	<b>Resultados</b>	<b>Especificaciones</b>
Recuento de Aerobios mesofilos UFC/g	>30000	20000 máx
Recuento de mohos y levaduras UFC/g	>10000 tipo levadura	3000 máx
NMP Coliformes totales/g	>11000	Sin especificación
NMP oniformes fecales/g	<3	<3
Detección de <i>Escherichia coli</i> /g	Negativo	Negativo
Recuento de <i>Bacillus coreuns</i> UFC/g	<100	1000 máx
Recuento de <i>Estafilococos</i> ocaagulase positiva UFC/g	<100	<100
Detección de <i>Salmonella</i> /25g	Negativo	Negativo

Se determinó la actividad de agua (*aw*) en muestras de harina de 5g acondicionadas a 21.5 °C, utilizando un medidor Aqua Lab CX-2. En este análisis se obtuvo un resultado promedio de 0.327,

que indica que las condiciones para que existan reacciones químicas, bioquímicas, desarrollo bacteriano, de levaduras y mohos es mínimo, menor que el de las harinas comunes (0.51).

## 2.6 EVALUACIÓN ECONÓMICA PRELIMINAR

Para evaluar la prefactibilidad económica de este proyecto inicialmente se presenta la inversión de capital en equipos que se debe realizar para implementar el proceso de producción desarrollado.

Posteriormente, se costea la producción de 72 kg de harina de ocará, incluyendo costos fijos y variables (mano de obra y costo de los servicios industriales); teniendo en cuenta una capacidad de producción que se explica más adelante, y se compara con el precio de venta de harina de trigo, para determinar si es viable producir harina de ocará de soja y utilizarla como sustituto en la elaboración de productos de panificación.

Para realizar esta evaluación de prefactibilidad se debe tener en cuenta la capacidad de producción actual de PAN y la capacidad proyectada con este trabajo; capacidad basada en la futura ampliación de la planta de producción y en los rendimientos obtenidos en el proceso de producción de leche de soja y en el proceso de producción de harina de ocará de soja.

Actualmente se procesan 300 kg diarios de frijón de soja; a partir de los cuales se producen 2.500 litros diarios de leche de soja y se generan como subproducto del proceso 360 kilogramos de ocará de soja. Con esto se tiene que por cada kilogramo de frijón de soja que se procese, se generan 1.2 kg de ocará de soja.

Teniendo en cuenta la posible ampliación de la planta de producción del Comité PAN, se estableció un procesamiento de 500 kg diarios

de frijón de soja; a partir de los cuales se producirían 4.167 litros de leche y 600 kg de ocará de soja.

Basados en los valores obtenidos en los dos ensayos definitivos realizados en la parte experimental del proyecto, se tiene que por cada kilogramo de ocará de soja procesado se obtienen 0.12 kg de harina de soja.

Con esta información se concluye que con la capacidad proyectada del proceso de producción se procesarían 500 kg de frijón de soja, a partir de los cuales se generarían 600 kg de ocará de soja, con la cual se producirían 72 kg de harina de ocará de soja y se recuperarían 285.96 kg de leche de soja; todos los valores anteriormente citados hacen referencia a un día de producción.

Con esta capacidad de producción proyectada, se costea la mano de obra y los servicios industriales necesarios para un día de producción, se incluye el costo de la depreciación de los equipos, se divide este valor con la producción estimada (72 kg de harina de ocará de soja) y se compara este valor unitario (\$/kg) con el precio de un kilogramo de harina de trigo.

Aclarando los parámetros que se debieron tener en cuenta para esta evaluación, a continuación se presenta la inversión de capital necesaria para implementar el proyecto.

**TABLA 2.9**  
**Costo de los equipos para implementación del proyecto**

EQUIPO	COSTO (\$)
Filtro hidráulico	11.971.200
Secador de bandejas	15.080.000
Molino de martillos	6.612.000
TOTAL	33.663.200

Estos equipos fueron costeados aproximando sus capacidades lo más cerca posible a la capacidad proyectada. El filtro hidráulico fue diseñado y costeadado para satisfacer la capacidad proyectada para la planta de producción, pues es un diseño que no se consigue en el mercado el cálculo de sus dimensiones se hizo con base en la capacidad de producción proyectada. Sin embargo, el secador de bandejas y el molino de martillos son diseños con capacidad estándar y fueron los que más se acercaron a los requerimientos de dicha producción. El diseño del secador de bandejas permite procesar 193 de los 314 kg de ocará de soya previamente filtrada. El molino de martillos tiene una capacidad muy superior a la requerida, pero no se encontró un molino de menor capacidad que cumpliera con la función de clasificación (tamizado) de las partículas durante el proceso.

Para costear el proceso de producción de harina de ocará de soya que se implementaría a partir de la capacidad de producción de leche de soya proyectada, se requiere el costo de los servicios industriales que consumen los equipos, servicios

que incluyen energía eléctrica y gas natural. Cabe aclarar que la planta de producción del Comité PAN tiene instaladas las conexiones de estos servicios, por lo cual esto no se incluye en los costos. También se requiere mano de obra para operar el filtro hidráulico y el molino de martillos y para disponer la masa de ocará de soya en el secador de bandejas. Se plantea una producción en 2 batches, teniendo en cuenta el tiempo de secado requerido por el proceso, trabajando en una jornada de ocho horas, 6 días a la semana.

En la tabla 2.10 se presenta el consolidado del consumo de servicios industriales de los tres equipos y su costo, (esto calculado con ayuda del personal de producción de Vibrasec, empresa que diseña dos de los tres equipos aquí sugeridos), teniendo en cuenta que la planta de producción del Comité Pan cuenta con instalación de energía eléctrica trifásica, instalación de red de gas natural y que los precios de los servicios son suministrados por ellos mismos, según el cobro de Empresas Públicas para la ubicación de la planta de producción.

**TABLA 2.10**  
**Consumo de servicios industriales de los equipos y su costo**

EQUIPO	TIEMPO DE OPERACIÓN (H)	CONSUMO	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL (\$)
Filtro manual	1	4.02 KWH (Energía eléctrica)	\$240.51/KWH	966.85
Secador	8	2.6 m <sup>3</sup> /h (Gas natural)	\$ 818.92/ m <sup>3</sup>	17033.54
Molino	0.66	3.75 KWH (Energía eléctrica)	\$240.51/KWH	595.26
TOTAL	9.66			18595.65

Para la operación de este proceso se requiere mano de obra permanente en los procesos de filtración y molienda y mano de obra que adecúe la masa de ocará de soya para el proceso de secado, más no mano de obra permanente para esta parte del proceso. En la tabla 2.11 se presenta el consolidado del requerimiento de personal para este proceso y su costo, basado en un salario mínimo mensual (\$496.000) y el valor de las prestaciones (\$282.720) para un empleado que trabaja 192 horas al mes:

**TABLA 2.11**  
**Requerimiento y costo de la mano de obra**

PROCESO	TIEMPO DE OPERACIÓN (H)	COSTO UNITARIO (\$/H)	COSTO TOTAL (\$)
Filtración	1	4055.83	4055.83
Secado	2	4055.83	8111.66
Molienda	0.66	4055.83	2676.85
TOTAL	3.66		14844.34

El costo de un día de producción en una planta de harina de ocara de soya es de \$3.343.999, día de trabajo en el que se planean producir 72 kg de harina de ocara de soya.

Adicional a esto, se debe tener en cuenta el costo de la depreciación de los equipos necesarios para implementar el proceso de producción. Este cálculo se hará en base a la producción proyectada, teniendo en cuenta una depreciación a 5 años y con 288 días de trabajo anual, según las referencias utilizadas para el cálculo del costo de la mano de obra.

$$\text{Costo\_Depreciación\_Equipos} = \frac{\$33'663.200}{5\text{años} * 365\text{días / año} * 72\text{kg / día}} = \$256.19 / \text{kg}$$

Finalmente se tiene que el costo de producir harina de ocara de soya es de \$720.63/kg; mientras que el precio de venta promedio de un kilogramo de harina de trigo es de \$1.600. Con este resultado se obtiene que es rentable desde el punto de vista económico producir harina de ocara de soya y emplear su uso en la industria panificadora.

## 2.7 CONCLUSIONES

Un proceso adecuado para obtener harina de ocara de soya consta de tres procedimientos: filtrado; para extraer gran cantidad (50%) de la humedad retenida por la masa y recuperar este peso que está constituido por leche de soya; producto de interés para El Comité PAN. Secado, que retira la humedad retenida por la masa de ocara de soya que no puede ser retirada por el filtrado y que garantiza el porcentaje de humedad requerido para el uso de una harina en la industria panificadora; y molienda y tamizado para garantizar el tamaño de partícula adecuado para este tipo de industria, que garantiza las

propiedades organolépticas (principalmente textura) del producto producido a partir de la misma.

El producto trabajado a partir de la harina de ocara de soya fue un producto de panificación, teniendo en cuenta que El Comité Privado de Asistencia a La Niñez (Comité PAN) posee un horno para este tipo de industria subutilizado en sus instalaciones, dándole entonces con el proyecto un uso adecuado y reduciendo la inversión que se haría si se propusiera otro producto a partir de la harina de ocara de soya.

En la operación de filtración manual se obtiene una reducción del peso de la masa entre el 40% y 50%, haciendo este procedimiento muy eficiente. Para una aplicación industrial del proceso de obtención de harina de ocara de soya, se sugiere un prensado hidráulico con un diseño de equipo que permita recuperar las dos partes de interés, ya que este procedimiento también es muy eficiente, porque permite eliminar un 40% del peso inicial de la masa y no requiere

la cantidad de mano de obra que requiere un filtrado manual, lo que reduce los costos fijos.

El equipo seleccionado para el procedimiento de secado es un deshidratador de alimentos, ya que permite lograr un porcentaje de humedad del 8.66% en un período de tiempo de 4 horas, mientras que un horno eléctrico sólo permite lograr un porcentaje de humedad del 18% en un período de tiempo de 5 horas, estos resultados a una misma temperatura de operación (60°C). Esta diferencia se debe a que el deshidratador de alimentos tiene un mejor flujo de aire entre el interior y el exterior del equipo, en comparación con el horno eléctrico.

El proceso de secado se debe realizar a una temperatura de 60°C, valor que se encuentra 10°C por debajo del límite al que se debe operar para garantizar las propiedades nutritivas y organolépticas de la harina de ocará de soja y del producto de panificación realizado a partir de ésta.

El equipo seleccionado para el proceso de molienda es un molino de martillos, ya que logra los mismos resultados en cuanto a granulometría que el molino de discos utilizado para la parte experimental del proyecto, pero permite hacer una clasificación granulométrica de las partículas de harina durante el proceso, lo cual es un valor agregado del equipo.

La cantidad de harina de trigo que se puede reemplazar por harina de ocará de soja en una mezcla está dada por la aceptación del consumidor a un producto elaborado con ella. En este caso, la mejor aceptación fue lograda para la mezcla 70/30, la mezcla con menor cantidad de harina de ocará de soja empleada en el panel sensorial. Con este resultado se puede concluir que mientras mayor sea la cantidad de harina de ocará de soja que se utilice para la elaboración de un pan, habrá una disminución en la calidad panificadora de la mezcla, por lo

tanto los productos elaborados tendrán una menor calificación de sus propiedades.

La calidad microbiológica de la harina de ocará de soja presentó un recuento de aerobios mesófilos y de mohos y levaduras mayor al máximo permisible, esto es debido a que se pierde la cadena de frío durante el proceso de transporte entre la planta de producción del Comité PAN y el Centro de Laboratorios de la universidad, al almacenamiento indebido y a que el sitio de trabajo disponible para la experimentación no cumple con Buenas Prácticas de Manufactura como debe ser un lugar en el que se trabaje con alimentos. Para una aplicación industrial del proceso de obtención de harina de ocará de soja, se debe adecuar un espacio que cumpla con los requerimientos establecidos para producción de alimentos.

A pesar de las afirmaciones expuestas anteriormente, se puede concluir que si el proceso de obtención de harina de ocará se realiza bajo los parámetros de Las Buenas Prácticas de Manufactura, la contaminación de la harina después de su producción es casi nula, pues su actividad de agua ( $a_w$ ) es de 0.327, valor inferior al reportado por la literatura para harinas de uso en panificación (0.51).

Otro parámetro importante en la evaluación de la idoneidad de una harina para su uso en panificación es su granulometría. Con respecto a este parámetro, se puede concluir que la harina de ocará de soja cumple con las condiciones granulométricas especificadas, pues sólo el 20% de su masa está por encima de las especificaciones y este porcentaje se puede reducir con el uso de un molino de martillos que incluya en su diseño un tamiz para la clasificación del tamaño de partículas durante el proceso.

La proteína contenida en la harina de ocará de soja (37.42%) es la propiedad que hace más viable la implementación de esta materia

prima en productos de panificación desde el punto de vista alimenticio, ya que hace que estos productos tengan un valor nutritivo mucho más alto en comparación con otros elaborados exclusivamente a partir de harina de trigo. Sin embargo, esta implementación no debe superar una sustitución mayor al 30% de la harina de trigo comúnmente usada, para garantizar las propiedades organolépticas del producto final, que contaría con un contenido de proteína proporcionado por la mezcla de harinas del 19.40%.

El rendimiento del proceso de producción de harina de oca de soja es del 12.13%. Con base en este valor se puede concluir que el montaje y puesta en marcha de una planta de producción

de harina de oca de soja no es viable desde este punto de vista, pero teniendo en cuenta que lo que se busca con este proyecto es darle un mejor aprovechamiento al subproducto generado en el procesamiento de leche de soja en la planta del Comité PAN, y que además en el proceso desarrollado se permite recuperar gran parte del producto de interés, se puede concluir que el proceso es viable para su implementación.

Al realizar un análisis de los costos en los que se incurre al producir un kilogramo de harina de oca de soja (\$720.63/kg) y compararlo con el precio de venta de la misma cantidad de harina de trigo (\$1.600/kg), se concluye que el proceso expuesto es viable económicamente.

# Bibliografía

---

- AGENCIA PERUANA DE NOTICIAS. 2008. Industrialización de harina de papa beneficiará a 284 mil campesinos, afirma Sierra Exportadora. Consulta en: Enero de 2009. Disponible en: <http://www.andina.com.pe/Espanol/Noticia.aspx?Id=U8/j7IZzZRE=>
- AGUDELO B., Beatriz y JARAMILLO, Olga Cecilia (1989). Pelado y optimización del proceso de deshidratación del coco (*Cocos Nucifera* L). Medellín. 112 p. Tesis (Ingeniería de Alimentos). Corporación Universitaria Lasallista. Facultad de Ingeniería de Alimentos.
- ALVAREZ, Ángela María. Funcionaria Secretaria de Agricultura de Antioquia. Conversación electrónica. Febrero de 2008. Medellín: Colombia.
- ARAQUE, Germán y GAVIRIA, Jorge (1986). La desecación del banano en cama estacionaria. Medellín. 124 p. Tesis (Ingeniería Mecánica). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- ARBOLEDA, G. 2009. Ingeniero mecánico, Metálicas González. Entrevista personal en: Febrero de 2009. Medellín - Colombia.
- ARIAS L., ANDRÉS F. (2008). Estadísticas Sector Agropecuario. Bogotá (Jun de 2008). Disponible en: [http://www.minagricultura.gov.co/archivos/estadistica\\_agropecuarias\\_3\\_junio\\_2008.pdf](http://www.minagricultura.gov.co/archivos/estadistica_agropecuarias_3_junio_2008.pdf)
- ARTEAGA, H.L; RODRÍGUEZ, H.S. 2005. Diseño de un Secador de Bandejas Prototipo que Opere con Briquetas de Carbón y Determinación del Nivel Óptimo de Cuatro Variables que Intervienen en el Secado de Papa (*Solanum Tuberosum*). Variedad Canchán. Tesis de grado, Pregrado en Ingeniería Industrial. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo, Perú.
- BACEX, Banco de Datos de Comercio Exterior. Consulta en: Enero de 2009. Medellín, Colombia.

- BENNION B., Edmund (1970). Fabricación de pan. Zaragoza. 404 p. organismos/agricultura/papa GENERALIDADES1.html#>
- BIRD, Banco de Iniciativas Regionales para el desarrollo de Antioquia. 2006. Iniciativas para el Desarrollo de Antioquia, primera muestra. P 131. Consulta en: Abril de 2008. Disponible en: <http://www.birdantioquia.org.co/uploads/Iniciativas%20para%20el%20Desarrollo%20de%20Antioquia%20-%20Primera%20Muestra.pdf>
- BOB'S RED MILL, Natural Food.2009. Potato Flour. Consulta en: Febrero de 2009. Portal virtual: <http://www.bobsredmill.com/product.php?productid=3593>
- BOTERO, J. 2009. Ejecutiva MIT, Bancolombia. Entrevista personal en Marzo de 2009. Medellín, Colombia.
- BRENNAN, J.G. *et al* (1980). Las operaciones de la ingeniería de los alimentos. Segunda Edición. Zaragoza. pp. 318-347.
- BRENNAN, J.G.2006. Food Processing Handbook. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. Weinheim, Alemania. Capítulos: 1-3
- BRENNAN, J.G; COWELL, N.D; BUTTERS, J.R. 1980. Las Operaciones en la Industria de los Alimentos, 2da Ed. Editorial Acribia. Zaragoza, España. Capítulos: 9, 13.
- BUITRAGO, G.V; LÓPEZ, A.P; CORONADO, A.P; OSORIO FL. 2003. Determinación de las Características Físicas y Propiedades Mecánicas de Papa Cultivada en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Bogotá, Colombia.
- CADENA AGORALIMENTARIA DE LA PAPA. 2009. Generalidades del Cultivo de Papa en Antioquia. Consulta en: Febrero de 2009. Disponible en: <<http://www.gobant.gov.co>
- CEVIPAPA. Centro Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa. 2004. Consulta en: Octubre de 2008. Disponible en: <http://www.cevipapa.org.co/faq.php>
- CHANGZHOU,F. Vendedor de Machinery Co., Ltd. Conversación electrónica. Diciembre de 2008. China.
- CHEMKHI, S; SAGROUBA, F; BELLAGI,A. 2005. Modelling and Simulation of Drying Phenomena with Rheological Behaviour. Brazilian Journal of Chemical Engineering. Vol. 22, No. 02. Brasil.
- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO. Artículo No 685. Consulta en: Febrero de 2009. Disponible en: [www.anmat.gov.ar/codigo/CAPITULO%20IX%20\\_actualiz%2013-6-03\\_.pdf](http://www.anmat.gov.ar/codigo/CAPITULO%20IX%20_actualiz%2013-6-03_.pdf)
- COMAPOSADA, J.; GOU, P.; ARNAU, J. (2000). The effect of sodium chloride content and temperature on pork meat isotherms. En: Meat Science, Vol 55, No. 3. pp. 291-295.
- COPLEY, 1973; VAN ARSDEL, W; MORGAN, A. 1973. Food Dehydration 2nd Ed. Conn Avi Pub. Co. Westport, Unites States. Capitulo: 10.
- CORONEL, EVE LIZ y TOBINAGA, SATOSHI (2004). Drying the okara on a spouted bed. EN: 14º Simposio Internacional de Secado. Brasil. (Agosto 2004); Vol. C, pp. 1767-1775.
- CORPOICA, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Consulta en: Enero de 2009. Portal virtual: [www.corpoica.gov.co](http://www.corpoica.gov.co)
- DESROSIER, N. M. 1973. Conservación de Alimentos. CECOSA, México D.F. México. Capítulos 1- 4,8

- EARLE, R.L. (1978). Ingeniería de alimentos: Las operaciones básicas aplicadas a la tecnología de alimentos. Zaragoza. pp. 139-165.
- EICHORN, S; EVERT, R; HAMILTON, P. 1992. Biología de las Plantas. Editorial Reverté. 444 p.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAOSTAT. 2008. Consulta en: Diciembre de 2008. Disponible en: <http://www.potato2008.org/en/world/index.html>
- FELLOWS, P.J. 2000. Food Processing Technology Principles and Practice. 2 ed. United States. Cambridge, England. Capítulos: 1, 3, 10, 15.
- GALO, A. 2007. Elaboración de Harina Precocida de *Solanum Tuberosum*, en Autoclave con las Variedades Superchola y Gabriela, para Consumo Humano. Universidad Técnica de Ambato- Facultad de Ingeniería de Alimentos. Ambato, Ecuador.
- GAVIRIA, N.C; LÓPEZ, L.M. 2005. Extracción a Escala Laboratorio de la Pectina del Maracuyá y Escalado Preliminar a Planta Piloto. Universidad EAFIT. Tesis de grado, Pregrado en Ingeniería de Procesos. Antioquia. Colombia.
- GEANKOPLIS, C. J. 1998. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias. 3ra. Ed. Editorial Continental, S.A. México. Capítulo: 9.
- GERKENS. D.R.1970. Method of an Expanded Potato Product. Patente No. 3692537. Unites States. 1972.
- GÓMEZ S. Mario (1969). Teoría y práctica en la elaboración del pan. Quinta Edición. Talleres de Capolito. Bogotá. pp. 1-105.
- GÓMEZ, Elías (1990). Curso de procesos de alimentos. Corporación Universitaria Lasallista. Medellín. pp. 54-58.
- IBARZ, A; BARBOSA, G. 2003. Unit Operations in Food Engineering. CRC Press LCC. Unites States. Capítulo: 17.
- IBARZ, Albert y BARBOSA-CÁNOVAS, Gustavo V. (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp. 271, 583.
- ICONTEC, Instituto Colombiano de Normas Técnicas. 1987. ICONTEC No 341. Clasificación de papas de consumo.
- ITESCAM, Instituto Superior de Calkini en el Estado de Campeche. 1998. Métodos de Transformaciones Actuales - Implicaciones de las Tecnologías Alimentarias. Consulta en: Octubre de 2008. Disponible en: [www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r5025.DOC](http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r5025.DOC)
- LABUZA, TP. (1980). The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. En: Food Technol. pp. 34-36.
- LAGOEYTE, J. 2008. Cadena Agroindustrial de la Papa en Antioquia, Seminario Nacional Avances en el Cultivo de la Papa. pp. 17-20.
- LÓPEZ, J. 2008. Papicultor de Santa Elena. Entrevista telefónica en Noviembre de 2008. Medellín, Colombia.
- LÓPEZ, M; VALLEJO, M. 1998. Estudio de Factibilidad de la Agroindustrialización de la Harina de Papa en el Municipio de la Unión. Universidad Católica de Oriente. Tesis de grado, Pregrado en Administración de Empresas Agropecuarias. Antioquia, Colombia.
- MADRID, Antonio y MADRID, Javier (2001). Nuevo manual de industrias alimentarias. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 470 p.

- MARÍN, E; LEMUS, R; FLORES,V; VEGA, A. 2006. La Rehidratación de Alimentos Deshidratados. Revista Chilena de Nutrición. Vol 33, No. 03. Chile.
- MÁRQUEZ, Ricardo y OLARTE, Gloria (1985). Secado de almidón de yuca en capa delgada. Medellín. 219 p. Tesis (Ingeniería Mecánica). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- Mc CABE, Warrent y SMITH, Julián C. (1981). Operaciones unitarias en Ingeniería Química. Reverté, Barcelona. p 907 - 910.
- MCCABE, W; SMITH, J; HARRIOTT, P. 2005. Operaciones Unitarias en Ingeniería Química. 5a Ed. McGraw-Hill. Madrid, España. Capítulo: 25.
- MEXICHEM. 2006. Hoja de Datos de Seguridad.- Hipoclorito de Sodio. Consulta en: Marzo de 2009. Disponible en: [http://www.mexichem.com/web\\_mexichem/docs/hs\\_hipoclorito\\_sodio.pdf](http://www.mexichem.com/web_mexichem/docs/hs_hipoclorito_sodio.pdf)
- MISRA, A; KULSHRESTHA, K. 2003. Effect of Storage on Nutritional Value of Potato Flour Made from Three Potato Varieties Plant Foods for Human Nutrition V 58. India.
- MORENO, J. 2000. Calidad de la Papa para Usos Industriales. Corpoica, Consulta en: Septiembre de 2008. Disponible en [www.redepapa.org/calidadpapa.pdf](http://www.redepapa.org/calidadpapa.pdf)
- MUJUMDAR, Arun S. 2006. Handbook of Industrial Drying. 3rd ed. Taylor & Francis Group, LLC. New York, United States. Capítulos: 1, 2, 4, 6, 9, 13, 16, 21, 25, 27.
- NAVE, R.W; SCOTT, G.J; 1992. Villague –Level Potato Processing in Development Countries: A Case Study of the SOTEC Project in India. Product Development for Root and Tubers Crops. Volume 1-Asia. International Potato Center (CIP).
- NESTLE. 2006. Nutripro, Boletín Nutricional Nestle foodservices. Carbohidratos.
- NONHEBEL, G. y MOSS, A.A. 1979. El Secado de Sólidos en la Industria Química. Reverté S.A. Barcelona, España: Capítulos: 2 y 5.
- OBSERVATORIO AGROCADENAS COLOMBIA - CADENA DE LA PAPA. Consulta en: Diciembre de 2008. Portal virtual: <[www.agrocadenas.gov.co](http://www.agrocadenas.gov.co)>. Colombia
- OBSERVATORIOAGROCADENAS COLOMBIA. 2006. Cuarto Informe Coyuntura Papa. Consulta: Abril de 2008. Disponible en: [http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/coyuntura/Inf\\_Coyuntura\\_papa\\_4.pdf](http://www.agrocadenas.gov.co/documentos/coyuntura/Inf_Coyuntura_papa_4.pdf)
- PALACIO, I; PALACIO, L. 1997. Determinación del Proceso de Producción de Harina de Papa en la Empresa “Pasabocas Margarita S.A”. Corporación Universitaria Lasallista. Tesis de grado, Pregrado en Ingeniería de Alimentos. Antioquia, Colombia.
- PAN. (2007) Comité Privado de Asistencia a La Niñez. Medellín
- PANALPINA WORL TRANSPORT. Ana Milena Aristizabal, Constumer Service. Asesoría a través de intermediario en Marzo de 2009. Medellín, Colombia.
- PARDO, CARLOS A (1977a). Calificación del pan. En: Curso sobre utilización de harinas compuestas para la elaboración de pan y pastas. Instituto de investigaciones tecnológicas. Bogotá. (1977); pp. 23-27.
- PARDO, CARLOS A (1977b). Estudio de materias primas y su influencia sobre el producto final. En: Curso sobre utilización de harinas compuestas para la elaboración de pan y pastas. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá. (1977); 52 p.

- PARÍS, Jaime y ROBLEDO, Víctor (1984). Secado de café en cama estacionaria. Medellín. 129 p. Tesis (Ingeniería Mecánica). Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería Mecánica.
- PARÍS, L. S. Profesor de Termodinámica- Universidad EAFIT. Entrevista personal en: Marzo de 2009. Medellín, Colombia.
- PATIÑO, M, P. 2009. Auxiliar administrativa del Centro de Acopio de la papa del municipio de la Unión. Entrevista personal en Enero de 2009. Unión, Antioquia, Colombia.
- PERRY, R; GREEN, D; MALONEY, J. 1992. Manual del Ingeniero Químico. 6ta Ed. McGraw-Hill. México. Tomo V - Sección 20.
- PERRY, Robert y CHILTON, Cecil (1981). Manual del Ingeniero Químico. Quinta Edición. México: Mc Graw Hill. pp. 721-759.
- PORTAFOLIO.2009. Qué se le Debe Pagar a un Empleado. Consulta en: Enero de 2009. Disponible en: <[www.portafolio.com.co/finanzas/empleo](http://www.portafolio.com.co/finanzas/empleo)>. Colombia.
- PotatoPro, Portal for the Global Potato Processing Industry. Manufacturers of Potato Products. Consulta en: Enero de 2009. Disponible en: <http://www.potatopro.com/Potato%20Processing%20Companies.aspx>
- POTTER, Norman N. (1978). La ciencia de los alimentos. México: Edutex. p 263-308.
- PROEXPORT. Informe Frutas Exóticas, Mermeladas y Frutas Deshidratadas. 2008. Consulta en: Agosto de 2008. Disponible en: <http://www.proexport.com.co/vbecontent/library/documents/DocNewsNo10050DocumentNo7848.pdf>
- PROKOP, S; ALBERT, J. 2008. Las Papas, la Nutrición y la Alimentación. Consulta en: Diciembre de 2008. Disponible en: <<http://www.potato2008.org/es/lapapa/hojas.html>>
- RAYAS, P; ROMERO, A.L. 2008. Revista Mexicana de Agronegocios. Fibra a Base de Fruta, Vegetales y Cereales: Función de Salud. Vol. XII, No. 023. Torreón, México.
- RECIPAPA, Red Colombiana de Información de la Papa. Cadena de Procesamiento, Producción y Exportación. Consulta en: Agosto de 2008. Disponible en: [http://www.cevipapa.org.co/recipapa/bd\\_cadpro.php?str=&do=list&ini=50&filtro=](http://www.cevipapa.org.co/recipapa/bd_cadpro.php?str=&do=list&ini=50&filtro=)
- REDEPA, Red Electrónica de la Papa. 2005. Almacenamiento de tubérculos. Consulta en: Diciembre de 2009. Portal virtual: <[www.redepapa.org](http://www.redepapa.org)>. Colombia.
- RÍOS, Carlos A. Asistente técnico FEDEPAPA - La Unión Antioquia. Entrevista personal. Enero de 2009. Municipio de la Unión - Antioquia, Colombia.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL DE ANTIOQUIA. 2008. Seminario Nacional Avances en el Cultivo de la Papa. –Introducción.
- SHEIN, M; FLORES, J. 1986. El Niño Precolombino. Michigan, United States. Hispanic Book Distributors Inc. 8 p.
- SIAP, Agencia de Aduanas Profesionales S.A. Elizabeth Bustamante Tobón - Coordinador Servicio al Cliente. Asesoría a través de intermediario en Marzo de 2009. Medellín, Colombia.
- SICA, Servicio de Información y Censo Agropecuario. 2000. Uso Integral de la Papa. Ecuador. Consulta en Abril de 2008. Disponible en: [http://www.sica.gov.ec/cadenas/papa/docs/uso\\_papa.htm](http://www.sica.gov.ec/cadenas/papa/docs/uso_papa.htm)

- SICHE, R.B. 2009. Doctor en ingeniería de alimentos, ingeniero agroindustrial, docente facultad de ciencias agropecuarias Universidad Nacional de Trujillo. Entrevistas virtuales en: Enero de 2009.
- SIERRA EXPORTADORA. 2008. Sierra Exportadora Crea Máquina Productora de Harina de Papa que Reducirá Costo del Pan. Consulta en: Enero de 2009. Disponible en: [http://www.sierraexportadora.gob.pe/noti\\_01.html](http://www.sierraexportadora.gob.pe/noti_01.html)
- SINAIPA, Sistema Nacional de Información de Papa. El correo de la Papa, Boletín No. 8, Abril de 2002.
- SMITH, P. 2003. Introduction to Food Process Engineering. Kluwer Academic/ Plenum Publishers. New York, Unites States. Capítulos: 4, 9,12.
- TAKASHI NISHIMURA, KAIZUKA; SHUSHI NAGAOKA; HIDEO SUGANO; HARUO TSUMURA, KOBE (1999). Process of producing soybean milk and okara. Japón (Sept de 1999). Disponible en: <http://www.google.com/patents?id=isgYAAAAEBAJ&dq=okara>
- TECANTE, A. 1999. Fundamentos de Secado, Extracción Solidó-Líquido y Destilación. Consulta en: Agosto, 2008. Disponible en: <http://depa.fquim.unam.mx/albertotecante/Secado.pdf>
- TREADWAY, R H. 1952. Uses of Potato Starch and Potato Flour in the Unites States, American Potato Journal. Publicado por The Potato Association of America.
- TURTON, R; BAILIE, R; WHITING, W; SHAEIWITZ; J. 2003. Analysis, Synthesis, and Desing of Chemical Processes. 2ed. New Jersey. Prentice Hall.
- UNED, universidad Nacional de Educación a Distancia. 2007. Aditivos Alimentarios. Consulta en: Febrero de 2009. Disponible en: <http://www.uned.es/expertobiotecnologiaalimentos/docu/AnexoIII%20Aditivos%20Alimentarios.pdf>
- UNIÓN. 2009. Geografía municipio de la Unión. Consulta en: Enero de 2009. Disponible en: <http://launion-antioquia.gov.co/nuestromunicipio.shtml?apc=m1t1--&m=f>.
- VALIENTE B., Antonio (1986). Problemas de balance de materia y energía en la industria alimentaria. México: Limusa. 19 p.
- VELÉZ, J. Director de producción Vibrasec S.A. Entrevistas personales: Diciembre de 2008 y Enero de 2009. Medellín, Colombia.
- VIBRASEC S.A, Equipos para Procesos Industriales. 2007. Manual de Operación Equipo Secado de Frutas por Bandejas. Medellín, Colombia.
- VILLAREAL H, 2008. Consejo Nacional de la Papa, Seminario Nacional Avances en el Cultivo de la Papa. p 83-88.
- WARK, Kenneth Jr. (1990). Termodinámica. Quinta Edición. México: Mc Graw Hill. 869 p.
- WILCKE, B. 2008. Energy Costs for Corn Drying and Cooling. Minnesota Crop News. Consulta en: Marzo de 2009. Disponible en: [http://blog.lib.umn.edu/efans/cropnews/2008/09/energy\\_costs\\_for\\_corn\\_drying\\_a.html](http://blog.lib.umn.edu/efans/cropnews/2008/09/energy_costs_for_corn_drying_a.html)
- YANNIOTIS, S. 2008. Solving Problems in Food Engineering. Springer Science+Business Media, LLC. New York, Unites Status. Capítulo: 18.

## TÍTULOS PUBLICADOS EN ESTA COLECCIÓN

Copia disponible en: [www.eafit.edu.co/investigacion](http://www.eafit.edu.co/investigacion)

**Cuaderno 1 – Marzo 2002**

***SECTOR BANCARIO Y COYUNTURA ECONÓMICA  
EL CASO COLOMBIANO 1990 – 2000***

Alberto Jaramillo, Adriana Ángel Jiménez,  
Andrea Restrepo Ramírez, Ana Serrano Domínguez y  
Juan Sebastián Maya Arango

**Cuaderno 2 – Julio 2002**

***CUERPOS Y CONTROLES, FORMAS DE  
REGULACIÓN CIVIL. DISCURSOS Y PRÁCTICAS  
EN MEDELLÍN 1948 – 1952***

Cruz Elena Espinal Pérez

**Cuaderno 3 – Agosto 2002**

***UNA INTRODUCCIÓN AL USO DE LAPACK***

Carlos E. Mejía, Tomás Restrepo y Christian Trefftz

**Cuaderno 4 – Septiembre 2002**

***LAS MARCAS PROPIAS DESDE  
LA PERSPECTIVA DEL FABRICANTE***

Belisario Cabrejos Doig

**Cuaderno 5 – Septiembre 2002**

***INFERENCIA VISUAL PARA LOS SISTEMAS  
DEDUCTIVOS LBPCO, LBPC Y LBPO***

Manuel Sierra Aristizábal

**Cuaderno 6 – Noviembre 2002**

***LO COLECTIVO EN LA CONSTITUCIÓN  
DE 1991***

Ana Victoria Vásquez Cárdenas,  
Mario Alberto Montoya Brand

**Cuaderno 7 – Febrero 2003**

***ANÁLISIS DE VARIANZA DE LOS BENEFICIOS  
DE LAS EMPRESAS MANUFACTURERAS EN  
COLOMBIA,***

***1995 – 2000***

Alberto Jaramillo (Coordinador),  
Juan Sebastián Maya Arango, Hermilson Velásquez  
Ceballos, Javier Santiago Ortiz,  
Lina Marcela Cardona Sosa

**Cuaderno 8 – Marzo 2003**

***LOS DILEMAS DEL RECTOR: EL CASO DE  
LA UNIVERSIDAD EAFIT***

Álvaro Pineda Botero

**Cuaderno 9 – Abril 2003**

***INFORME DE COYUNTURA: ABRIL DE 2003***

Grupo de Análisis de Coyuntura Económica

**Cuaderno 10 – Mayo 2003**

***GRUPOS DE INVESTIGACIÓN***

***Escuela de Administración***

***Dirección de Investigación y Docencia***

**Cuaderno 11 – Junio 2003**

***GRUPOS DE INVESTIGACIÓN ESCUELA DE  
CIENCIAS Y HUMANIDADES, ESCUELA DE  
DERECHO, CENTRO DE IDIOMAS Y  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO ESTUDIANTIL***

***Dirección de Investigación y Docencia***

**Cuaderno 12 – Junio 2003**

***GRUPOS DE INVESTIGACIÓN –  
ESCUELA DE INGENIERÍA***

***Dirección de Investigación y Docencia***

Cuaderno 13 – Julio 2003

**PROGRAMA JÓVENES INVESTIGADORES –  
COLCIENCIAS: EL ÁREA DE LIBRE COMERCIO DE  
LAS AMÉRICAS Y  
LAS NEGOCIACIONES DE SERVICIOS**

Grupo de Estudios en Economía y Empresa

Cuaderno 14 – Noviembre 2003

**BIBLIOGRAFÍA DE LA NOVELA COLOMBIANA**

Álvaro Pineda Botero, Sandra Isabel Pérez,  
María del Carmen Rosero y María Graciela Calle

Cuaderno 15 – Febrero 2004

**PUBLICACIONES Y PONENCIA 2003**

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 16 – Marzo 2004

**LA APLICACIÓN DEL DERECHO EN LOS SISTEMAS  
JURÍDICOS CONSTITUCIONALIZADOS**

Gloria Patricia Lopera Mesa

Cuaderno 17 – Mayo 2004

**PRODUCTOS Y SERVICIOS FINANCIEROS A GRAN  
ESCALA PARA LA MICROEMPRESA: HACIA UN  
MODELO VIABLE**

Nicolás Ossa Betancur

Cuaderno 18 – Mayo 2004

**ARTÍCULOS RESULTADO DE LOS PROYECTOS DE  
GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES  
DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN QUE SE  
GRADUARON EN EL 2003**

Departamento de Ingeniería de Producción

Cuaderno 19 – Junio 2004

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN  
EL AÑO 2003**

Departamento de Ingeniería Mecánica

Cuaderno 20 – Junio 2004

**ARTÍCULOS RESULTADO DE LOS PROYECTOS DE  
GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA DE PROCESOS QUE SE GRADUARON  
EN EL 2003**

Departamento de Ingeniería de Procesos

Cuaderno 21 – Agosto 2004

**ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DE LA AVENIDA  
TORRENCIAL DEL 31 DE ENERO DE 1994 EN LA  
CUENCA DEL RÍO FRAILE Y  
SUS FENÓMENOS ASOCIADOS**

Juan Luis González, Omar Alberto Chavez,  
Michel Hermelín

Cuaderno 22 – Agosto 2004

**DIFERENCIAS Y SIMILITUDES EN LAS TEORÍAS  
DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO**

Marleny Cardona Acevedo, Francisco Zuluaga Díaz,  
Carlos Andrés Cano Gamboa,  
Carolina Gómez Alvis

Cuaderno 23 – Agosto 2004

**GUIDELINES FOR ORAL ASSESSMENT**

Grupo de investigación Centro de Idiomas

Cuaderno 24 – Octubre 2004

**REFLEXIONES SOBRE LA INVESTIGACIÓN  
DESDE EAFIT**

Dirección de Investigación y Docencia

Cuaderno 25 – Septiembre 2004

**LAS MARCAS PROPIAS DESDE  
LA PERSPECTIVA DEL CONSUMIDOR FINAL**

Belisario Cabrejos Doig

Cuaderno 26 – Febrero 2005

**PUBLICACIONES Y PONENCIAS -2004-**

Dirección de Investigación y Docencia

**Cuaderno 27 – Marzo 2005**

***EL MERCADEO EN LA INDUSTRIA DE LA CONFECCIÓN – 15 AÑOS DESPUÉS -***

Belisario Cabrejos Doig

**Cuaderno 28 – Abril 2005**

***LA SOCIOLOGÍA FRENTE A LOS ESPEJOS DEL TIEMPO: MODERNIDAD, POSTMODERNIDAD Y GLOBALIZACIÓN***

Miguel Ángel Beltrán, Marleny Cardona Acevedo

**Cuaderno 29 – Abril 2005**

***“OXIDACIÓN FOTOCATALÍTICA DE CIANURO”***

Grupo de investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

**Cuaderno 30 – Mayo 2005**

***EVALUACIÓN A ESCALA DE PLANTA PILOTO DEL PROCESO INDUSTRIAL PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CARDAMOMO, BAJO LA FILOSOFÍA “CERO EMISIONES”***

Grupo de investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

**Cuaderno 31 – Junio 2005**

***LA DEMANDA POR FORMACIÓN PERMANENTE Y CONSULTORÍA UNIVERSITARIA***

Enrique Barriga Manrique

**Cuaderno 32 – Junio 2005**

***ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2004***

Escuela de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Mecánica

**Cuaderno 33 – Julio 2005**

***PULVERIZACIÓN DE COLORANTES NATURALES POR SECADO POR AUTOMIZACIÓN***

Grupo de investigación Desarrollo y

Diseño de Procesos -DDP-

Departamento de Ingeniería de Procesos

**Cuaderno 34 – Julio 2005**

***“FOTODEGRADACIÓN DE SOLUCIONES DE CLOROFENOL-CROMO Y TOLUENO-BENCENO UTILIZANDO COMO CATALIZADOR MEZCLA DE DIÓXIDO DE TITANIO (TiO<sub>2</sub>), BENTONITA Y CENIZA VOLANTE”***

Grupo de investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Edison Gil Pavas

**Cuaderno 35 – Septiembre 2005**

***HACIA UN MODELO DE FORMACIÓN CONTINUADA DE DOCENTES DE EDUCACIÓN SUPERIOR EN EL USO PEDAGÓGICO DE LAS TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN Y COMUNICACIÓN***

Claudia María Zea R., María del Rosario Atuesta V., Gustavo Adolfo Villegas L., Patricia Toro P., Beatriz Nicholls E., Natalia Foronda V.

**Cuaderno 36 – Septiembre 2005**

***ELABORACIÓN DE UN INSTRUMENTO PARA EL ESTUDIO DE LOS PROCESOS DE CAMBIO ASOCIADOS CON LA IMPLANTACIÓN DEL TPM EN COLOMBIA***

Grupos de investigación:

Grupo de Estudios de la Gerencia en Colombia

Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial (GEMI)

**Cuaderno 37 – Septiembre 2005**

***PRODUCTOS Y SERVICIOS FINANCIEROS A GRAN ESCALA PARA LA MICROEMPRESA COLOMBIANA***

Nicolás Ossa Betancur

Grupo de investigación en Finanzas y Banca

Área Microfinanzas

**Cuaderno 38 – Noviembre 2005**

***PROCESO “ACOPLADO” FÍSICO-QUÍMICO Y BIOTECNOLÓGICO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONTAMINADAS CON CIANURO***

Grupo de investigación Procesos Ambientales y

Biotecnológicos -GIPAB-

**Cuaderno 39 – Febrero 2006**

**LECTURE NOTES ON NUMERICAL ANALYSIS**

Manuel Julio García R.

Department of Mechanical Engineering

**Cuaderno 40 – Febrero 2006**

**MÉTODOS DIRECTOS PARA LA SOLUCIÓN DE SISTEMAS DE ECUACIONES LINEALES SIMÉTRICOS, INDEFINIDOS, DISPERSOS Y DE GRAN DIMENSIÓN**

Juan David Jaramillo Jaramillo, Antonio M. Vidal Maciá, Francisco José Correa Zabala

**Cuaderno 41- Marzo 2006**

**PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES Y REGISTROS 2005**

Dirección de Investigación y Docencia

**Cuaderno 42- Mayo 2006**

**A PROPÓSITO DE LA DISCUSIÓN SOBRE EL DERECHO PENAL “MODERNO” Y LA SOCIEDAD DEL RIESGO**

Diana Patricia Arias Holguín

Grupo de Estudios Penales (GEP)

**Cuaderno 43- Junio 2006**

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2005**

Departamento de Ingeniería Mecánica

Escuela de Ingeniería

**Cuaderno 44- Junio 2006**

**EL “ACTUAR EN LUGAR DE OTRO” EN EL CÓDIGO PENAL COLOMBIANO, ÁMBITO DE APLICACIÓN Y PROBLEMAS MÁS RELEVANTES DE LA FÓRMULA DEL ART. 29 INCISO 3**

Susana Escobar Vélez

Grupo de Estudios Penales (GEP)

**Cuaderno 45- Septiembre 2006**

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO QUE SE GRADUARON EN EL AÑO 2004 Y EN EL 2005-1**

Departamento de Ingeniería de Diseño de Producto  
Escuela de Ingeniería

**Cuaderno 46- Octubre 2006**

**COMENTARIOS A VISIÓN COLOMBIA II CENTENARIO: 2019**

Andrés Ramírez H., Mauricio Ramírez Gómez y Marleny Cardona Acevedo

*Profesores del Departamento de Economía*

Antonio Barboza V., Gloria Patricia Lopera M., José David Posada B. y José A. Toro V.

*Profesores del Departamento de Derecho*

Carolina Ariza Z. – *Estudiante de Derecho*

Saúl Echavarría Yepes-*Departamento de Humanidades*

**Cuaderno 47- Octubre 2006**

**LA DELINCUENCIA EN LA EMPRESA: PROBLEMAS DE AUTORÍA Y PARTICIPACIÓN EN DELITOS COMUNES**

Grupo de Estudios Penales (GEP)

Maximiliano A. Aramburo C.

**Cuaderno 48 – Octubre 2006**

**GUIDELINES FOR TEACHING AND ASSESSING WRITING**

Grupo de investigación – Centro de Idiomas (GICI)

Ana Muñoz, Sandra Gaviria, Marcela Palacio

**Cuaderno 49 – Noviembre 2006**

**APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOCATALÍTICOS PARA LA DESTRUCCIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS Y OTRAS SUSTANCIAS EN FUENTES HÍDRICAS**

Grupo de investigación Procesos Ambientales y Biotecnológicos -GIPAB-

Edison Gil Pavas, Kevin Molina Tirado

**Cuaderno 50 – Noviembre 2006**  
**PROPUESTAS METODOLÓGICAS EN  
LA CONSTRUCCIÓN DE CAMPOS  
PROBLEMÁTICOS DESDE EL CICLO DE VIDA DE  
LAS FIRMAS Y EL CRECIMIENTO INDUSTRIAL DE  
LAS MIPYMES**

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales  
Departamento de Economía  
Escuela de Administración  
Marleny Cardona Acevedo  
Carlos Andrés Cano Gamboa

**Cuaderno 51 – Enero 2007**  
**PRODUCTO DE TELEPRESENCIA PARA  
LA EDUCACIÓN SUPERIOR EN  
EL ÁMBITO NACIONAL**

Departamento de Ingeniería de Sistemas  
Departamento de Ciencias Básicas  
Helmuth Treftz Gómez, Pedro Vicente Esteban Duarte  
Andrés Quiroz Hernández, Faber Giraldo Velásquez  
Edgar Villegas Iriarte

**Cuaderno 52 – Febrero 2007**  
**PATRONES DE COMPRA Y USO DE VESTUARIO  
MASCULINO Y FEMENINO EN  
LA CIUDAD DE MEDELLÍN**

Departamento de Mercadeo  
Belisario Cabrejos

**Cuaderno 53 – Febrero 2007**  
**EL DEBATE SOBRE LA MODERNIZACIÓN  
DEL DERECHO PENAL**

**Materiales de investigación**  
Grupo de investigación  
Grupo de Estudios Penales (GEP)  
Juan Oberto Sotomayor Acosta,  
Diana María Restrepo Rodríguez

**Cuaderno 54 – Marzo 2007**  
**ASPECTOS NORMATIVOS DE LA INVERSIÓN  
EXTRANJERA EN COLOMBIA: Una mirada a la luz  
de las teorías de las Relaciones Internacionales**

Pilar Victoria Cerón Zapata y  
Grupo de investigación en Inversión Extranjera:  
Sabina Argáez, Lina Arbeláez y Luisa Victoria Euse

**Cuaderno 55 – Abril 2007**  
**PUBLICACIONES, PONENCIAS,  
PATENTES Y REGISTROS 2006**

Dirección de Investigación y Docencia

**Cuaderno 56 – Abril 2007**  
**CAPITAL HUMANO: UNA MIRADA DESDE  
LA EDUCACIÓN Y LA EXPERIENCIA LABORAL**

Marleny Cardona Acevedo, Isabel Cristina Montes  
Gutiérrez, Juan José Vásquez Maya,  
María Natalia Villegas González, Tatiana Brito Mejía  
Semillero de investigación en Economía de EAFIT  
–SIEDE–  
Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales –ESyT–

**Cuaderno 57 – Mayo 2007**  
**ESTADO DEL ARTE EN EL ESTUDIO DE  
LA NEGOCIACIÓN INTERNACIONAL**

Maria Alejandra Calle  
Departamento de Negocios Internacionales  
Escuela de Administración

**Cuaderno 58 – Diciembre 2008**  
**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN  
EL AÑO 2006**

Escuela de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Mecánica

**Cuaderno 59- Octubre 2007**

**DESARROLLO DE NUEVOS PRODUCTOS (DNP)**

Jorge E. Devia Pineda, Ph.D.

Grupo de investigación Desarrollo y Diseño de Procesos y Productos -DDP-

Departamento de Ingeniería de Procesos

**Cuaderno 60- Marzo 2008**

**ARTÍCULOS DE PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA DE DISEÑO DE PRODUCTO QUE SE GRADUARON DESDE EL 2005-2 HASTA EL 2007-1**

Grupo de investigación en Ingeniería de Diseño

**Cuaderno 61- Marzo 2008**

**MEMORIAS CÁTEDRA ABIERTA TEORÍA ECONÓMICA**

Marleny Cardona Acevedo, Danny Múnera Barrera, Alberto Jaramillo Jaramillo, Germán Darío Valencia Agudelo, Sol Bibiana Mora Rendón

**Cuaderno 62- Abril 2008**

**PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES Y REGISTROS - 2007**

Dirección de Investigación y Docencia

**Cuaderno 63- Junio 2008**

**PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2006**

Escuela de Ingeniería

**Cuaderno 64- Junio 2008**

**PROYECTOS DE GRADO INGENIERÍA DE SISTEMAS 2006-2007**

Ingeniería de Sistemas

**Cuaderno 65- Junio 2008**

**APLICACIÓN DE LA ELECTROQUÍMICA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Grupo de investigación en procesos ambientales y biotecnológicos

Línea de investigación: Procesos Avanzados de Oxidación

**Cuaderno 66- Junio 2008**

**COMPARATIVE ANALYSES OF POLICIES, LEGAL BASIS AND REALITY OF SME FINANCING IN CHINA AND COLOMBIA**

Marleny Cardona A., Isabel Cristina Montes G., Carlos Andrés Cano G., Bei Gao

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales –ESYT–  
Departamento de Economía

**Cuaderno 67- Septiembre 2008**

**ARTÍCULOS DE LOS PROYECTOS DE GRADO REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON EN EL 2007**

Ingeniería Mecánica

**Cuaderno 68- Septiembre 2008**

**EL BANCO DE LAS OPORTUNIDADES DE MEDELLÍN**

**Caso de investigación**

Ernesto Barrera Duque

Grupo de investigación la Gerencia en Colombia

**Cuaderno 69- Noviembre 2008**

**LAS DIMENSIONES DEL EMPRENDIMIENTO EMPRESARIAL: LA EXPERIENCIA DE LOS PROGRAMAS CULTURA E Y FONDO EMPRENDER EN MEDELLÍN**

Marleny Cardona A., Luz Dinora Vera A., Juliana Tabares Quiroz

Grupo de Estudios Sectoriales y Territoriales –ESYT–  
Departamento de Economía

**Cuaderno 70- Diciembre 2008**

**LA INSERCIÓN DE LA REPÚBLICA POPULAR CHINA EN EL NORESTE ASIÁTICO DESDE LOS AÑOS 1970: ¿HACIA UN NUEVO REGIONALISMO?**

**Informe final proyecto de investigación**

Adriana Roldán Pérez, Melissa Eusse Giraldo,

Luz Elena Hoyos Ramírez y

Carolina Duque Tobón

**Cuaderno 71 - Marzo 2009**  
**PROYECTOS DE GRADO 2008**

**Artículos**

Escuela de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería de Procesos

**Cuaderno 72 - Abril 2009**  
**PUBLICACIONES, PONENCIAS, PATENTES,  
REGISTROS Y EMPRENDIMIENTOS 2008**

Dirección de Investigación y Docencia  
Universidad EAFIT

**Cuaderno 73 - Mayo 2009**  
**EL CASO COCA NASA.**  
**Análisis Jurídico de la política del Estado  
Colombiano en materia de comercialización de  
alimentos y bebidas derivados de hoja de coca  
producidos por comunidades indígenas**

Nicolás Ceballos Bedoya  
Grupo de investigación "Justicia y Conflicto"  
Escuela de Derecho

**Cuaderno 74 - Junio 2009**  
**ARTÍCULOS DE PROYECTO DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA MECÁNICA QUE SE GRADUARON  
EN EL 2008**

Ingeniería Mecánica

**Cuaderno 75 - Agosto 2009**  
**INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO DE  
PRODUCTOS**

Jorge E. Devia Pineda, Elizabeth Ocampo C.,  
Astrid Eliana Jiménez R., María Angélica Jiménez F.,  
Sandra Milena Orrego L., Ana Lucía Orozco G.  
Grupo de Investigación Desarrollo y Diseño de  
Procesos y Productos -DDP-  
Departamento de Ingeniería de Procesos

**Cuaderno 76 - Agosto 2009**  
**ARTÍCULOS DE PROYECTO DE GRADO  
REALIZADOS POR LOS ESTUDIANTES DE  
INGENIERÍA DE SISTEMAS**

**SEMESTRES 2008-1, 2008-2 Y 2009-1**  
Departamento de Ingeniería de Sistemas

**Cuaderno 77 - Agosto 2009**  
**ESTUDIO LONGITUDINAL DE LOS PROCESOS  
DE IMPLANTACIÓN DE TPM EN UNA EMPRESA  
DEL SECTOR AUTOMOTRIZ (SOFASA), Y  
LA DINÁMICA DE CAMBIO SEGUIDA**

Gustavo Villegas López, Director del proyecto e  
Investigador principal EAFIT  
Alfonso Vélez Rodríguez, Investigador principal EAFIT  
Grupo de Estudios en Mantenimiento Industrial (Gemi)  
Escuela de Ingenierías  
Departamento de Ingeniería Mecánica  
Grupo de Estudios de Gerencia en Colombia  
Escuela de Administración  
Departamento de Organización y Gerencia

**Cuaderno 78 - Noviembre 2009**  
**SOBRE LA INTERNACIONALIZACIÓN DE  
LA JUSTICIA PENAL O EL DERECHO PENAL COMO  
INSTRUMENTO DE GUERRA**

Daniel Ariza Zapata  
Grupo de investigación Justicia y Conflicto  
(Grupo de estudios de Derecho penal y  
filosofía del derecho)  
Escuela de Derecho

**Cuaderno 79 - Enero 2010**  
**INDUSTRIALIZACIÓN DE LA RIQUEZA VEGETAL:  
OPORTUNIDADES SOCIALES Y ECONÓMICAS**

Jorge E. Devia Pineda, Elizabeth Ocampo C.,  
Luis Alejandro Betancur G., Juliana Hernández G.,  
Juliana Zapata N., Juliana Botero R.,  
Ana Lucía Carmona C.  
Grupo de investigación Desarrollo y Diseño de  
Procesos -DDP-  
Departamento de Ingeniería de Procesos