

UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS “CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ”

FAULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA



**UNIVERSIDAD
DE CIENFUEGOS**
CARLOS RAFAEL RODRÍGUEZ

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

TÍTULO: Selección de tecnología para la recuperación del gluten en la Empresa Productora y Comercializadora de Glucosas, Almidón y Derivados del Maíz. GydeMa.

Autor:

Dany José Castellanos Soto

Tutores:

MSc. Laimí Pisch Vidal

Ing. Adisleydis Suárez Delfino

Cienfuegos, 2021.

Pensamiento

PENSAMIENTO

La mente que se abre a una nueva idea jamás vuelve a su tamaño original.

ALBERT EINSTEIN

Agradecimientos

AGRADECIMIENTOS

A mis tutoras Adisleydis Suárez Delfino y Laimí Písch Vidal, por su optimismo y entrega, por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, por haberme enseñado que, aunque el camino parezca difícil, las metas trazadas sí se pueden alcanzar.

A mi madre por haberme dado la vida y la posibilidad de realizar mis sueños y sobre todo por apoyarme en mis decisiones.

A mi hermano Luis Miguel por haber estado presente, aunque distantes físicamente, he sentido su apoyo siempre que lo he necesitado.

A mi familia, por ser una parte importante en mi vida, en especial a mis abuelos maternos Emilia y Marcelo, mis tías Mery, Midiala, Milagros y Mildrey.

A mi pareja Daríel Sarría y su familia, por haberme ayudado incondicionalmente en esta etapa definitoria de mi vida

Al compañero Fernando Sarría por haberme brindado sólidos conocimientos en la estadía por la Empresa GydeMa.

*A mis profesores de la Universidad de Cienfuegos, por haberme
brindado sus modestos conocimientos sin los cuales no hubiese
podido llegar hasta aquí.*

*A mis amigos, en especial Dagmaris, Yulier y Mauricio y Lidanay
por haber estado cerca de mí, dándome aliento y regalarle
a mi vida algo de ellos.*

*A todo aquel que de una forma u otra colaboró en la
realización de esta tesis.*

A todos, Muchas Gracias

Dedicatoria

DEDICATORIA

Cuando se alcanza una meta y miramos hacia atrás tomamos conciencia de la existencia de todas aquellas personas que nos han acompañado, dándonos su apoyo, cariño, confianza y fuerzas para salir adelante.

*Quiero dedicarle de forma muy especial este trabajo a mi **madre**, mi personita más importante, la que siempre me ha apoyado en todas las decisiones de mi vida, en especial la de haber estudiado ingeniería química. Haber llegado hasta este punto es el resultado de la constancia y los deseos de superación que siempre me transmitió. Por sus virtudes infinitas y gran corazón cada día siento por ella más admiración.*

Resumen

RESUMEN

La Empresa GydeMa no dispone de una tecnología para la recuperación del gluten, por lo que resulta vital el estudio de algunas alternativas o tecnologías para volver a retomar su separación y consiguiente aprovechamiento. El objetivo de este trabajo es seleccionar la variante tecnológica óptima y evaluar la viabilidad de su implementación. Para el cumplimiento del mismo se realizó una revisión bibliográfica sobre el estudio en cuestión, como resultado de la misma se destacan las separaciones por diferencias de densidades y granulometría. Para la selección se aplicó el criterio de expertos por el Método Delphi, resultando el método de centrifugación la mejor variante desde el punto de vista tecnológico y económico. Se realizó un estudio costo - beneficio que denotó la viabilidad de la implementación de la tecnología seleccionada. La evaluación ambiental demostró que se reduce la carga contaminante que se emite a la bahía en un 14,72 % y 34,47 % la DBO₅ y la DQO respectivamente a partir de la implementación de la centrifugación. El impacto social de la implementación de la tecnología en cuestión se refleja en la mejora de la calidad del almidón con la consiguiente disminución del por ciento de proteína presente en el almidón desde 0,8 a 0,5 %. Es válido señalar que la importancia de la obtención del gluten radica en que le daría el cierre al proceso productivo de la Empresa.

Palabras claves: tecnología, recuperación, gluten, centrifugación, carga contaminante

Abstract

ABSTRACT

The GydeMa Company does not have a technology for the recovery of gluten, so it is vital to study some alternatives or technologies to resume its separation and use. The objective of this work is to select the optimal technological variant and evaluate the feasibility of its implementation. To comply with it, a bibliographic review was carried out on the study in question, as a result of which the separations due to differences in densities and granulometry stand out. For the selection, the criteria of experts were applied by the Delphi Method, resulting in the centrifugation method the best variant from the technological and economic point of view. A cost-benefit study was carried out that showed an income of 3 373 121,63 NC in 10 years of production and according to the cost of the equipment in eight years of implementation of the technology, it begins to generate net income. The environmental evaluation showed that the pollutant load that is emitted to the bay is reduced by 14,72 % and 34,47 % the BDO₅ and the COD respectively from the implementation of centrifugation. The social impact of the implementation of the technology in question is reflected in the improvement of the quality of the starch with the consequent decrease in the percent of protein present in the starch from 0,8 to 0,5 %. It is valid to point out that the importance of obtaining gluten lies in the fact that it would close the production process of the Company.

Keywords: technology, recovery, gluten, centrifugation, pollutant load

Índice

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1 El grano de maíz. Generalidades.....	4
1.1.1 Estructura y composición.....	4
1.1.2 Composición química de las partes del grano	6
1.2 La industria del maíz	8
1.2.1 Molienda seca del maíz.....	9
1.2.2 Descripción del proceso de molienda húmeda del maíz	11
1.3 El Gluten de Maíz	13
1.3.1 Propiedades e importancia económica del Gluten de Maíz	13
1.4 Métodos de separación del gluten - almidón a escala industrial y de laboratorio	14
1.5 Método de Presentación, de la Tabla o Plano Inclinado	15
1.5.1 Ventajas de la aplicación del método	16
1.5.2 Desventajas de la aplicación del método	16
1.6 Método de Centrifugación	16
1.6.1 Ventajas del uso de las Centrífugas	16
1.6.2 Desventajas del uso de la Centrífuga <i>Decanter</i>	17
1.7 Método de Hidrociclón.....	18
1.7.1 Ventajas de la separación por hidrociclones	19
1.7.2 Desventajas de la separación por hidrociclones	19
1.8 Método de Cribado o Batería de Tamices	19
1.8.1 Beneficios del uso de la técnica de tamizado	20
1.8.2 Desventajas del tamizado.....	20
Conclusiones parciales	21

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA LA SEPARACIÓN ALMIDÓN - GLUTEN	22
2.1 Fundamentos teóricos del Método de Presentación, Tabla o Plano Inclinado	22
2.2 Fundamentos teóricos del Método de Centrifugación.....	22
2.2.1 Tipos de Centrífugas.....	23
2.3 Fundamentos y principios de funcionamiento de un hidrociclón	25
2.3.1 Tipos de Hidrociclones	25
2.4 Consideraciones sobre la operación de tamizado	26
2.5 Lanzamiento del estudio	27
2.5.1 Método <i>Delphi</i>	27
2.5.2 Metodología para la selección de criterio de expertos.....	28
2.5.3 Coeficiente de competencia	29
2.5.4 Análisis del criterio de experto.....	31
Conclusiones parciales	35
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	36
3.1 Análisis de los resultados del criterio de expertos	36
3.2 Evaluación Económica	38
3.3 Evaluación Ambiental	40
3.4 Impacto Social.....	41
Conclusiones parciales	42
CONCLUSIONES	44
RECOMENDACIONES	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS	

Introducción

INTRODUCCIÓN

Siendo única de su tipo en el país, la Empresa Productora y Comercializadora de Glucosas, Almidón y Derivados del Maíz (GydeMa) fue creada para producir glucosa ácida como materia prima, en la producción de caramelos y la exportación a países del Consejo de Ayuda Mutua Económica. Se puso en marcha en 1981 luego de un período inversionista que duró 6 años, con una tecnología concerniente al área capitalista, fundamentalmente a la firma Alfa Laval de procedencia sueca y a la *DDS Kroyer* de Dinamarca. Se construyó con el objetivo de producir diariamente 90 toneladas de Sirope de Glucosa, 9 toneladas (t) de Gluten, 7 t de Germen, 19 t de Licor de Remojo y 21,5 t de Forraje de acuerdo a datos ofrecidos por García Zamora.

La actualidad de la empresa muestra otra historia muy diferente a la que en sus inicios se contaba. Las producciones planificadas no se han podido alcanzar en los años que lleva de puesta en marcha, constituyendo la causa fundamental la falta de maíz, materia prima importada. Otras situaciones que afectan la producción son la falta de piezas de repuestos y de un mantenimiento adecuado. Esto conduce a que después de más de 40 años de explotación la capacidad a la que opera representa un 50 % con respecto a la de diseño.

Su objetivo social es producir a partir del maíz como materia prima fundamental una amplia gama de productos derivados de este como: almidón de maíz (producto fundamental), sirope de glucosa por vía ácida, sirope de glucosa por vía enzimática; así como otros productos alternativos: polvo para hornear, natilla en polvo, desayuno de chocolate, sirope para refrescos, mezclas para panetelas entre otros.

Una de las etapas fundamentales en la producción del almidón de maíz es la molienda húmeda. El proceso de la molienda húmeda permite separar en un medio acuoso los distintos componentes del grano, que constituyen carbohidratos, proteínas y lípidos. Para ello, antes de ingresar al molino, se somete al grano de maíz a un proceso de maceración con agua sulfurosa y se facilita así la separación de los cuatro componentes básicos: almidón (producto fundamental) y tres subproductos: germen, forraje y gluten.

En este proceso el grano macerado se tritura groseramente para despegar el germen de los otros constituyentes. El resultante de la molienda, suspendido en una corriente de agua, se hace pasar por hidrociclones donde se separa el germen. Este coproducto actualmente se emplea en la producción de pienso animal y con objetivo de generar mayor utilidad y beneficio se gestiona

un proyecto de desarrollo local para importar un equipamiento que permita el empleo de este para producción de aceite comestible.

El almidón, gluten y forraje contenidos en la suspensión son sometidos a una molienda fina. Por sus características, la fibra es menos afectada por la molienda y puede ser separada mediante tamizado. Este subproducto se conoce como gluten *feed* y se destina a la producción de alimentos balanceados y pienso animal. El gluten y almidón que permanecen en la corriente de agua presentan diferente densidad, lo que permite separarlos mediante centrifugación.

El efluente que queda como consecuencia de esta etapa de refinación contiene el gluten propiamente dicho unido a restos de almidón y sustancias de desecho de las etapas anteriores. Por diseño de la fábrica se cuenta con una tecnología para obtener el gluten de esta corriente líquida para usos en producciones alternativas, pero desde hace algunos años debido al desgaste y explotación del equipamiento este no está en funcionamiento.

Resulta vital en las condiciones actuales el estudio de algunas alternativas o tecnologías para volver a retomar su separación y consiguiente aprovechamiento. La importancia de la obtención de este coproducto desde el punto de vista técnico radica en que le daría el cierre al proceso productivo de la empresa, quedando así todos los subproductos que se obtienen en las diferentes etapas con un fin, destino y utilidad. El gluten es una gran fuente de proteínas. Se utiliza principalmente como materia prima o aditivo para piensos para el ganado, incluido el pescado, así como alimento para mascotas. Aporta proteínas, energía y pigmentación a los animales. Se utiliza como una alternativa potencial a otras proteínas como la harina de soja, la harina de pescado, la harina media y la harina de huesos, aumentando así su valor agregado. También se aprovecha en la industria de los cosméticos para la fabricación de champú, elevando así la calidad de este y en la industria panadera y repostería.

Desde una perspectiva ambiental y social la separación del gluten del efluente final que va hacia la Planta de Tratamiento de Residuales (PTR) supone una disminución considerable en los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅), es decir, impacta directamente en la reducción de la carga contaminante que se emite al cuerpo receptor, que es la bahía de Cienfuegos y por ende favorece la disminución de los malos olores que se perciben en el Consejo Popular de Pueblo Griffó.

Problema científico

En la Empresa Productora y Comercializadora de Glucosas, Almidón y Derivados del Maíz GydeMa no se dispone de una tecnología para la recuperación del gluten.

Hipótesis

Si existiera una tecnología para recuperación del gluten se podría aprovechar en producciones alternativas, cerrando así el ciclo productivo.

Objetivo general

Seleccionar una tecnología para la recuperación de gluten en la Empresa Productora y Comercializadora de Glucosas, Almidón y derivados del Maíz.

Objetivos específicos

1. Establecer los fundamentos teóricos que sustentan la investigación sobre la separación y recuperación del gluten en la Empresa GydeMa.
2. Identificar la variable que permita obtener la variante tecnológica para el aprovechamiento del gluten.
3. Considerar la sostenibilidad técnica, ambiental, económica y social de la propuesta de tecnología seleccionada.

Capítulo 1

CAPÍTULO 1: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 El grano de maíz. Generalidades

El maíz, *Zea mays L.*, es una planta de la familia de las gramíneas y probablemente el cereal más antiguo cultivado en el continente americano (Inglett, 1970). Los rastros arqueológicos encontrados en América Central, lugar de probable origen de esta planta, retrotraen su uso al año 5 000 a.c. (Benson y Pearce, 1991). El maíz fue cultivado por los nativos de América central centurias antes de la llegada de Cristóbal Colón. Su cultivo se extendió por América del Norte y América del Sur, siendo una fuente esencial en la alimentación de las poblaciones indígenas. A partir del descubrimiento de América se difundió desde México a Europa, África y Asia (Benson y Pearce, 1991). Por su tolerancia a distintas condiciones ambientales, el maíz se adaptó a diferentes climas, altitudes y estaciones de cultivo. En la actualidad la producción mundial de maíz alcanza las 6×10^8 toneladas. Los principales productores son Estados Unidos y China, con cantidades que superan las $1,5 \times 10^8$ toneladas. La importancia del maíz desde el punto de vista tecnológico radica en su bajo costo y gran versatilidad. El grano se consume como tal o elaborado, ya sea como maíz inflado, *snacks* y eventualmente en la elaboración de pan. Sin embargo, su principal destino es su industrialización en procesos tales como molienda seca y húmeda, elaboración de alimentos balanceados y cerveza. En lo que a la molienda húmeda respecta, este cereal es una fuente importante de almidón, jarabes, aceite y alcohol, los cuales se emplean en la elaboración de diversos alimentos y bebidas (Álvarez, 1998).

1.1.1 Estructura y composición

El grano de maíz es un fruto compuesto por un pericarpio que encierra una única semilla. Este tipo de fruto, en el cual el pericarpio no se abre para liberar la semilla, es característico de los cereales y se conoce como cariopse. Los granos están dispuestos en una espiga o mazorca unidos a esta por un apéndice inferior (*tip-cap*), el cual a menudo se pierde durante el desgranado mecánico. El tamaño y la forma de los granos en la mazorca depende de la posición del ellos en la misma. Los granos de los extremos son redondeados mientras que los restantes son más o menos planos. Este hecho se debe a las diferentes presiones que soportan los granos durante su desarrollo según sea la posición en que se ubiquen en la mazorca. En el grano de maíz existen tres partes bien diferenciadas: pericarpio, endosperma y germen. Según (Zuber y Darrah, 1991), el principal componente es el endosperma, con aproximadamente 85 % en peso, seguido por el germen, 10 % en peso, y finalmente el pericarpio, 5 % en peso. El pericarpio que recubre el grano está formado por un conjunto de capas discontinuas, firmemente adheridas una a otras.

Se distinguen 4 capas las cuales se muestran: epidermis, mesocarpio y las capas de células transversales y tubulares. La superficie externa de la epidermis está cutinizada dado que está impregnada con ceras, lo cual la hace bastante impermeable al agua. De hecho, la función de esta cutícula es evitar la pérdida de humedad durante el desarrollo del grano. El mesocarpio está compuesto por células elongadas de pared gruesa que forman una estructura compacta prácticamente sin espacios intercelulares. Por el contrario, las capas internas de células transversales y tubulares exhiben numerosos espacios intercelulares debido a que las mismas se contactan parcialmente entre sí. Debido a estas características se genera entre el mesocarpio y las capas internas del pericarpio una línea de debilitamiento a lo largo de la cual se separa fácilmente el pericarpio de la semilla. Este desprendimiento se ve favorecido por absorción de agua, dado que la misma agranda los espacios intercelulares debilitando la unión entre el mesocarpio y las capas internas del pericarpio.

Por otra parte, dado que la epidermis y el mesocarpio constituyen un tejido compacto y resistente, el pericarpio se desprende en grandes pedazos casi sin romperse. Este último se continúa hacia la base del grano donde desaparece la epidermis, confundiéndose con la zona de unión con el marlo o *tip cap*. Si se desprende la *tip-cap* aparece un disco oscuro, o hielina, que representa el cierre del sistema conductor, el cual brinda los nutrientes para el desarrollo de la semilla. El espesor del pericarpio es variable siendo más grueso en la base del grano que en las regiones central y superior, alcanzando su menor espesor sobre el germen. El endosperma, en contraste con el pericarpio, es un tejido continuo en el cual podemos diferenciar una zona externa formada por células ricas en proteínas y aceite, la cual se conoce con el nombre de aleurona (Pomeranz, 1987). En el resto del tejido, conocido como endosperma amiláceo se distinguen además dos regiones. Una zona externa, cercana a la aleurona, de consistencia dura la cual se conoce como endosperma córneo o vítreo con un alto contenido proteico; y otra interna de apariencia opaca conocida como endosperma harinoso. El almidón se encuentra fundamentalmente en células elongadas del endosperma, empaquetado en gránulos de 5 - 30 μm y embebido en una matriz proteica continua (Watson, 1991). El endosperma harinoso es opaco debido a la forma de refractar la luz (Duvick, 1961). La matriz proteica en el endosperma harinoso es delgada y no cubre completamente al gránulo de almidón, el cual adopta una forma redondeada. El endosperma vítreo o córneo posee una matriz proteica más gruesa, con gránulos de forma poliédrica por la compresión de los mismos, según se ha podido observar por microscopía electrónica de barrido (Watson, 1991). La matriz proteica de ambos endospermas está

compuesta por una proteína amorfa en la cual se encuentran incrustados cuerpos proteicos. Estos cuerpos proteicos están compuestos casi enteramente de zeína, una fracción proteica extremadamente baja en lisina. Para recuperar el almidón los gránulos deben ser liberados de la matriz proteica en donde se encuentran inmersos.

La fracción rica en proteínas obtenida por molienda húmeda se le suele llamar “gluten”, la cual también contiene células de la pared celular del endosperma y pequeños gránulos de almidón. Este gluten si bien no tiene las propiedades viscoelásticas del gluten de trigo, recibe en la bibliografía esta designación. El extracto lipídico del gluten de maíz es rico en pigmentos carotenoides, dentro de los cuales se encuentran los carotenos y las xantófilas. Estos compuestos son los principales responsables del color amarillo y/o anaranjado del endosperma de maíz. Por otro lado, estos pigmentos se encuentran en mayor proporción en el endosperma vítreo (Weber, 1991). Estos compuestos coloreados naturales del grano de maíz cobran importancia en los subproductos de la molienda húmeda destinados a elaboración de alimentos balanceados. Finalmente, el tercer componente del grano de maíz es el germen, el cual está compuesto por el embrión y el escutelo. En esta parte del grano se encuentran enzimas que son capaces de degradar las sustancias almacenadas en el endosperma, las cuales servirán como nutrientes del embrión durante la germinación. El germen contiene poco almidón, pero es rico en aceite y proteínas. En el proceso de molienda húmeda, el germen se separa entero y prácticamente libre de endosperma, para su posterior uso en la extracción de aceite.

1.1.2 Composición química de las partes del grano

Como se muestra en la tabla 1.1, las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 %, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 %), celulosa (23 %) y lignina (0,1 %) (Burga y Duensing, 1989). El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 %), aproximadamente 8 % de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Tabla 1.1. Composición química de las partes del grano de maíz.

Componente químico	Pericarpio (%)	Endospermo (%)	Germen (%)
Proteínas	3,7	8,0	18,4
Extracto etéreo	1,0	0,8	33,2
Fibra cruda	86,7	2,7	8,8
Cenizas	0,8	0,3	10,5
Almidón	7,3	87,6	8,3
Azúcar	0,34	0,62	10,8

Fuente: (Agronet, 2015)

Por último, el germen se caracteriza por tener elevado contenido de grasas crudas, el 33 % por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 %) y minerales.

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 % del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 % del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30 % del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75 % del almidón. La composición del almidón viene determinada genéticamente. En el maíz común, ya sea con un endospermo de tipo dentado o córneo, el contenido de amilosa y amilopectina del almidón es tal como se ha descrito anteriormente, pero el gen que produce maíz ceroso contiene un almidón formado totalmente por amilopectina. Un mutante del endospermo, denominado diluyente de la amilosa (da), hace aumentar la proporción de amilosa del almidón hasta el 50 % y más. Otros genes, solos o combinados, pueden modificar la composición del almidón al alterar la proporción entre la amilosa y la amilopectina (Bradle, 1965).

Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el 8 y el 11 % del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo. Las proteínas de los granos del maíz han sido estudiadas ampliamente, y están formadas por lo menos por cinco fracciones distintas (Landry, 1970) y (Moureaux, 1982). Conforme a su descripción, las albúminas, las globulinas y el nitrógeno no proteico totalizan aproximadamente el 18 % del total de nitrógeno, con proporciones del 7, 5 y 6 %, respectivamente. La fracción de prolamina soluble en isopropanol al 55 % y de isopropanol con mercaptoetanol (ME), constituye el 52 % del nitrógeno del grano; de estas la prolamina I o zeína I soluble en isopropanol al 55 % representa aproximadamente el 42 %, y el restante 10 % es prolamina 2 o zaína 2. Una solución alcalina con pH igual a 10 y con 0,6 % de ME, extrae la fracción de glutelina 2 en cantidades de aproximadamente el 8 %, en tanto que la glutelina 3 es extraída con la misma solución retardante que antes, con dodecilsulfato de sodio al 0,5 %, en cantidades del 17 % dando un contenido total de globulina del 25 % de las proteínas del grano. Normalmente, una porción reducida, cerca del 5 %, está constituida por nitrógeno residual (Diez Crespo, 2017)

1.2 La industria del maíz

La industrialización del maíz es una de las actividades agroindustriales que genera mayor valor agregado en el mundo, puesto que permite obtener gran número de productos que se consumen en forma directa o son insumos de otras industrias. Este sector abastece una gran parte de las necesidades del mercado mundial. En nuestro país ha iniciado un proceso de exportación, principalmente hacia los países limítrofes. Como la planta existente trabaja a plena capacidad, el crecimiento del sector requiere concretar inversiones en el corto plazo.

Algunos testimonios históricos señalan que el maíz comenzó a industrializarse alrededor del año 1844, con el propósito de obtener almidón. Anteriormente se empleaban como materias primas el trigo y la papa. Así, en un principio el almidón era el único producto resultante, siendo descartados los demás constituyentes del grano.

Las mejoras introducidas al proceso posteriormente, llevaron al aprovechamiento de la fibra, el germen y la proteína y a maximizar la ecuación económica resultante del procesamiento. Progresivamente comenzó a obtenerse dextrosa y gluten *feed*. Hacia finales del siglo XIX se realizó en Estados Unidos la primera producción comercial de aceite de maíz. Ya en el siglo XX,

el empleo de la tecnología de enzimas permitió la obtención de otros productos tales como maltodextrina o jarabe de maíz de alta fructosa.

En la actualidad, cada porción del grano es aprovechada para obtener un gran número de productos que se destinan al consumo directo o bien son empleados como insumos en otras industrias. Por todo esto, la industrialización del maíz es una de las actividades agroindustriales que genera mayor valor agregado. El principal destino de la producción maicera es la exportación como *commodity*, que se desarrolla en un mercado mundial caracterizado por la fuerte concentración de la oferta por parte de Estados Unidos, que participa con más del 58 % del comercio mundial.

A nivel interno, los principales sectores demandantes son la avicultura, la lechería y la ganadería de vacunos y porcinos. También se destacan la molienda húmeda y seca, que además de requerir importantes cantidades de maíz, constituyen eslabones de transformación que generan una gama de productos de alto valor agregado.

1.2.1 Molienda seca del maíz

El maíz colorado duro o *flint* es el ideal en la industria de la molienda seca para obtener harinas, sémolas o *grits* (figura 1.1).

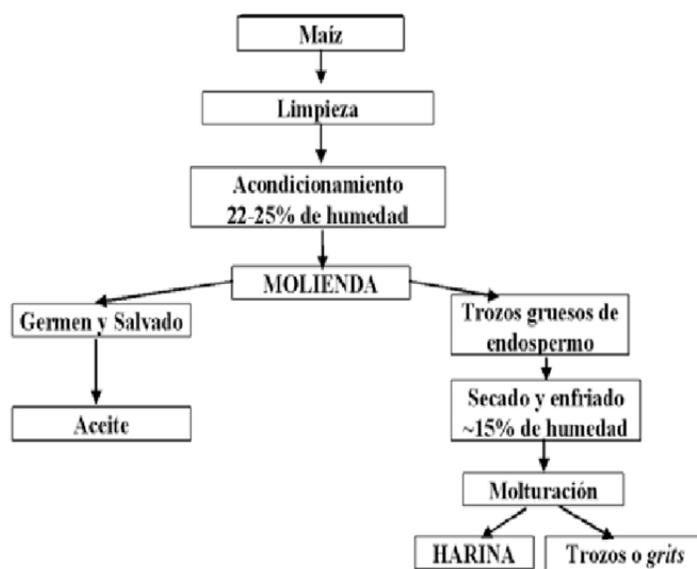


Figura 1.1. Diagrama del proceso de molienda seca del maíz. **Fuente:** (Robutti, 2004)

El proceso de molienda seca tiene como finalidad una completa separación de las partes del maíz (pericarpio, germen y endospermo) hasta que sea económicamente factible. Se busca

producir la máxima cantidad de endospermo córneo en forma de trozos discretos y eliminar el germen y el pericarpio en trozos grandes y limpios, para dar un producto de baja grasa y baja fibra (Robutti, 2004).

La molienda seca de maíz comienza con la limpieza de los granos por zaranda, aspiración, mesa densimétrica e imanes, para eliminar granos quebrados, otros cereales, hojas, piedras, metales, partículas pulverulentas, etc. Seguidamente el grano se acondiciona para su posterior degerminación. El proceso de acondicionamiento dependerá del tipo de producto que se quiera elaborar (Franco, 2004). Por ejemplo, si se quiere elaborar un producto cervecero se debe degerminar eficientemente, por lo tanto, el acondicionamiento debe ser muy riguroso ajustando la humedad entre 16-17 % y dejando reposar el grano el tiempo suficiente para que el germen se humecte perfectamente. Los granos se humectan con agua mediante la utilización de rociadores intensivos para que adquiera una humedad de 22-25 %, dejándose reposar durante aproximadamente una hora. Posteriormente se degermina por fricción (sistema *Beall*), la cual produce la fractura del grano en dos o tres trozos y el desprendimiento del germen y el salvado (Álvarez, 2006). El uso de molinos *Beall* permite la obtención de trozos de endospermo de gran tamaño para la elaboración de cereales para desayuno y la obtención de productos con menor contenido de grasa y fibra, es decir mayor eficiencia en la separación. (Shukla, 1981).

Otros métodos de degerminación menos utilizados emplean el grano en seco, con un contenido de humedad de 14-15 %, degerminando en molinos de rodillo acoplado a cernidores, o bien por centrifugación de impacto y separadores gravimétricos (Shukla, 1981). La fracción que contiene el germen sigue la línea de producción de extracción de aceite, como se explicó anteriormente. Tras la degerminación se reduce la humedad de los trozos de endospermo hasta 15,0-15,5 % en tubos rotatorios a 60-70 °C, y seguidamente se enfría por aspiración con aire para después cernir. Posteriormente se somete a molienda en una serie de molinos de cilindro; en los primeros aún se separa germen y se fragmentan trozos grandes hasta obtener el tamaño requerido. Todo el sistema se acompaña de cernidores planos, los cuales ayudan a la clasificación. Los productos derivados de la molienda seca de maíz son muy numerosos y su variedad depende en gran medida del tamaño de las partículas. Los productos que llegan al consumidor se dividen en tres grupos: harinas, sémolas o polenta y los trozos o *grits*, los que son utilizados para la elaboración de *snaks*, copos de cereal y barras de cereal.

Los subproductos de la molienda en seco son el germen y la cubierta seminal; el primero se utiliza para obtener aceite comestible de elevada calidad, mientras que la cubierta seminal, o

pericarpio, se emplea fundamentalmente como alimento para ganado, aunque en los últimos años ha despertado interés como fuente de fibra dietética (Earll y otros, 1988) y (Burge y Duensing, 1989).

1.2.2 Descripción del proceso de molienda húmeda del maíz

La molienda húmeda de maíz involucra operaciones químicas, bioquímicas y mecánicas para separar el grano en sus principales componentes: almidón, gluten, germen y fibra. El proceso comienza con una maceración del grano con el fin de ablandarlo, seguido por operaciones de molienda y separación. Las fracciones tienen propiedades físicas diferentes por lo que pueden ser separadas por métodos basados en diferencias de densidad y tamaño de partícula. La característica básica de esta industria es lograr la separación de los principales componentes del maíz empleando grandes cantidades de agua, lo que la diferencia de la molienda seca de maíz, la cual puede ser comparada con la molienda de trigo (Lasseran, 1973). Un esquema del proceso de molienda húmeda de maíz se ilustra en la figura 1.2.

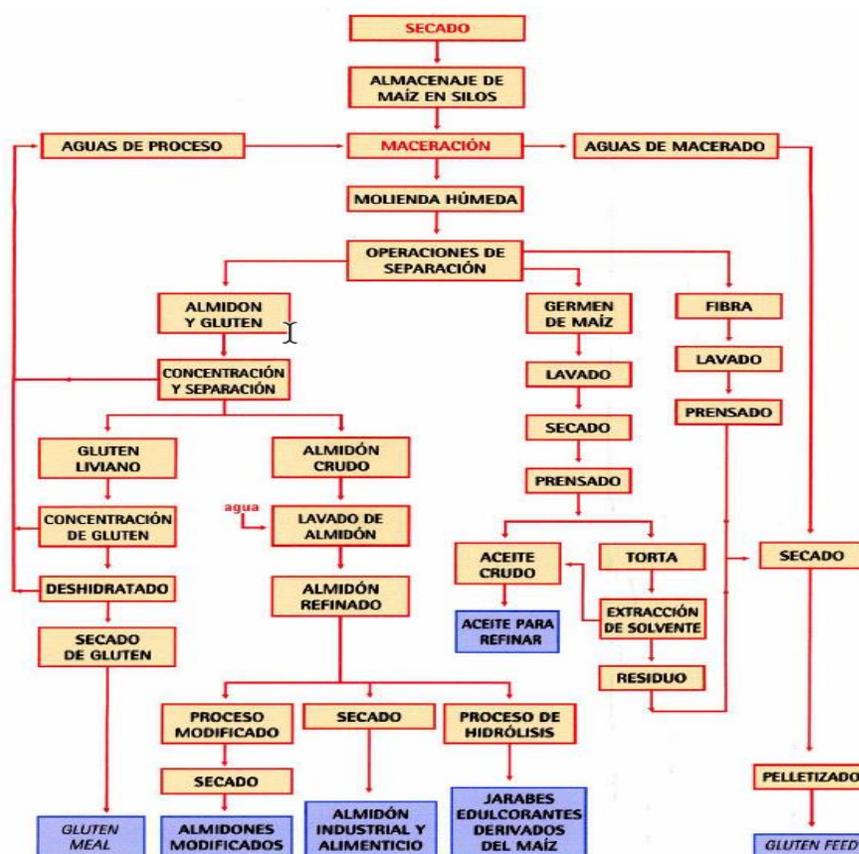


Figura 1.2. Diagrama del proceso de molienda húmeda del maíz. **Fuente:** (Haros, Claudia Mónica, 1999).

En primer lugar, el maíz se limpia para eliminar todo tipo de material extraño. El grano se transporta a grandes cubas llamadas “tanques de maceración” en donde se remoja en una solución acuosa de SO₂; durante un período de 2 a 3 días, a una temperatura de aproximadamente 50 °C. Durante el proceso de maceración, alrededor del 6 % del peso seco del grano se disuelve. Estos componentes disueltos son la fracción nutritiva del extracto de maíz fermentado y condensado (licor de maceración) que luego se lleva a deshidratación, Normalmente este subproducto se deshidrata en un secador de tambor horizontal, y la mezcla finalmente se muele para ser pelletizada. Luego de la maceración, el grano de maíz absorbió abundante agua y reaccionó con el SO₂; por lo que se ablandó lo suficiente como para poder ser desintegrado, inclusive, por simple fricción con los dedos.

Posteriormente se realiza una primera molienda gruesa en discos rotatorios dentados. La distancia entre dientes es variable dependiendo del tamaño de los granos. El germen se desprende entero y se separa por flotación, se seca y se destina para la elaboración de aceite mediante un prensado *expeller* y extracción con hexano; el aceite crudo posteriormente se refina. El germen seco puede emplearse como ingrediente del gluten *feed* (C.R.A., 1997).

Luego de la separación del germen la suspensión resultante se muele en un molino de impacto para pulverizar las partículas de endosperma, mientras deja el material fibroso intacto. La suspensión se filtra por una serie de tamices con tamaño de malla decreciente (75 a 50 µm), impactando la suspensión en el último tamiz para permitir el pasaje del almidón y el gluten. La fibra separada es el mayor ingrediente del gluten *feed*. Este subproducto de la molienda húmeda de maíz se elabora combinando la fibra con el licor de maceración, y en algunas plantas se mezcla con el germen.

El almidón y el gluten se separan por centrifugación en hidrociclones en serie de manera tal de optimizar la separación. La suspensión más liviana corresponde al gluten, la cual se concentra y posteriormente se deshidrata mediante decantadores rotativos del cual se obtiene una torta de gluten que se seca en horno rotativo con flujo de aire caliente. Este producto seco se denomina gluten *meal*. Por otro lado, la suspensión o lechada de almidón que emerge del extremo inferior del hidrociclón se concentra y se lava en contracorriente. Esta suspensión de almidón es utilizada en los distintos canales de producción con que cuenta la planta. Estos podrán ser almidones modificados, procesos de hidrólisis para la elaboración de jarabes o simplemente su deshidratación en lecho fluidizado con aire caliente.

1.3 El Gluten de Maíz

El gluten de maíz, de aspecto granuloso y color amarillento (figura 1.3), se obtiene en el fraccionamiento del grano de maíz por vía húmeda. En este proceso se separa en primer lugar la parte soluble (*corn steep*) y posteriormente se divide por centrifugación en almidón y gluten. Este último contiene la mayor parte de la proteína del endospermo del grano (zeína), junto con pequeñas cantidades de fibra y almidón, no purificadas en el proceso. El gluten de maíz es un conglomerado de proteínas altamente digestibles en todas las especies animales (>90 %) (Tabla 1.2).



Figura 1.3. Apariencia del gluten de maíz seco. **Fuente:** (El Forraje, 2019).

1.3.1 Propiedades e importancia económica del Gluten de Maíz

El nivel medio de proteína en muestras analizadas es de un 60 %, con un rango comprendido entre un 53,9 y un 67,4 % y un coeficiente de variación de un 4,3 %. Es una importante fuente de proteína indegradable en raciones de rumiantes. Las proporciones de proteína soluble y degradable sobre proteína total son relativamente bajas (4 y 30 %, respectivamente) y la digestibilidad intestinal de la proteína indegradable es muy alta (90 %). La proteína del gluten tiene una concentración aceptable de metionina y treonina, pero es muy deficiente en lisina y triptófano.

Tabla 1.2. Coeficientes de digestibilidad del gluten de maíz en animales.

Coeficiente de digestibilidad de la proteína (%)				
Rumiantes	Porcinos	Aves	Conejos	Caballos
90	93	95	91	89

Fuente: (Suarez, D., 2005).

La concentración de almidón en el gluten depende del proceso de separación. El valor medio observado es del 17 % pero oscila entre partidas. Dado que es un producto que recibe procesado

térmico, la proporción de almidón fermentable en el rumen es alta (85 %), muy superior a la del almidón del maíz molido. El contenido en hidratos de carbono estructurales es bajo (6 %), al igual que la proporción de fibra efectiva (33 %). Por otra parte, el grado de lignificación de la pared celular es muy bajo (0,4 %).

El gluten es muy deficitario en casi todos los minerales esenciales. El contenido medio en grasa es de un 2,7 %, existiendo una oscilación entre el 1,5 y el 4,2 %. Al igual que ocurre con el maíz, la grasa es muy insaturada con un alto contenido en ácido linoleico (1,2 %). Tiene además un contenido apreciable de xantofilas (entre 200 y 300 ppm), con una alta proporción de zeaxantina, por lo que tiene un interés añadido en dietas para ponedoras y pollos de alta pigmentación.

Su valor energético es alto en todas las especies, como consecuencia de la elevada digestibilidad de la mayor parte de sus componentes. La principal limitación nutritiva del uso de gluten radica en el desequilibrio en su composición en aminoácidos esenciales. Su empleo en vacas de alta producción tiene interés por su alta concentración de proteína indegradable de elevada digestibilidad intestinal. No obstante, los aportes se limitan a 1-2 kg/d. Las cantidades más bajas estarían recomendadas cuando el forraje de la ración sea el ensilado de maíz y el principal cereal del concentrado sea este mismo grano, ya que en estas condiciones existe un alto riesgo de deficiencia en lisina y/o triptófano en la ración global. Niveles más altos pueden suministrarse en combinación con otros forrajes y con concentrados ricos en lisina, como derivados de soja o harina de pescado.

En el control de calidad se debe vigilar que la humedad final del producto no sea superior a un 12 % para evitar problemas de manejo una vez almacenado. Es deseable un color amarillo anaranjado, ya que un color más oscuro puede indicar un secado inapropiado. El control de laboratorio, debe incluir como mínimo el análisis del contenido en proteína y, cuando sea de interés, el de xantofilas.

1.4 Métodos de separación del gluten - almidón a escala industrial y de laboratorio

El primer método para simular la molienda húmeda a escala de laboratorio fue desarrollado por Zipf y col. (1950) quienes propusieron macerar el grano en un sistema *batch*. Basándose en dicho método, en los últimos años se han propuesto algunas modificaciones del mismo tendientes a mejorar la separación de los componentes del grano. Steinke y Johnson (1991), Eckhoff y col. (1996) y Steinke y col. (1991) desarrollaron un método de molienda más

sofisticado consistente en el remojo de los granos en un proceso semi-*batch* en contracorriente. De esta manera, dichos investigadores lograron una mejor simulación del proceso a escala industrial.

En general, los métodos de separación de almidón y gluten se basan en la diferencia de densidades de dichos componentes o en la distinta granulometría de los mismos. Steinke y Johnson (1991) emplearon el método de centrifugación para separar el almidón del gluten, dado que la densidad de los gránulos de almidón es $1,5 \text{ g/cm}^3$, comparada con la correspondiente a la fracción proteica cuyo valor es de $1,1 \text{ g/cm}^3$. Otro método de separación basado en la diferencia de densidad es el método de la tabla o plano inclinado. En este método la suspensión de almidón/gluten se hace circular sobre un plano inclinado, donde se produce la sedimentación de la fracción amilácea, en tanto que la proteína queda en suspensión. Este método, propuesto originalmente por Watson y col. (1951) se ha utilizado en varios trabajos de investigación (Anderson, 1963; Eckhoff y col., 1993b).

Finalmente, el método basado en la diferencia de tamaño entre el almidón y el gluten se basa en el hecho que las partículas de almidón tienen un diámetro del orden de $10\text{-}30 \mu\text{m}$ en tanto que las de gluten son de $5\text{-}10 \mu\text{m}$ (Singh y Eckhoff, 1996). Basándose en esta diferencia de tamaño entre las partículas de gluten y almidón, Neryng y Reilly (1984) propusieron un método de separación mediante una batería de tamices. Si bien el método es relativamente simple y de bajo costo, el mismo no ha sido muy utilizado en la bibliografía. A continuación, una descripción más detallada de los principios y particularidades y en los cuales se basan casa uno de ellos.

1.5 Método de Presentación, de la Tabla o Plano Inclinado

La tabla de almidón es la separación de almidón-proteína más utilizada. La fracción pesada de almidón se deposita sobre la mesa y la fracción de proteína más ligera permanece suspendida en el agua y fluye del final. Las mesas pueden ser de aluminio, hierro (pintado correctamente para evitar la oxidación), o acero inoxidable, siendo esta la más apropiada. El ancho, largo y paso de la mesa depende de la concentración y caudal de la suspensión de almidón de molino que se alimenta a la mesa. Singh y Eckhoff (1996) determinaron que una pendiente de mesa de $0,0104 \text{ cm/cm}$ y una velocidad de bombeo de 50 ml/min dieron el mejor almidón rendimientos cuando 1 litro de lechada de almidón de molino ($1,04 \text{ gravedad específica}$) fue separados mediante una mesa de aluminio de $8,3 \times 6,1 \text{ cm}$. Ambos rendimientos de almidón y el contenido de proteína

en el almidón disminuyó al aumentar la pendiente de la mesa y aumentaron con la disminución de esta.

1.5.1 Ventajas de la aplicación del método

Desde el punto de vista analítico el método de la tabla es el que mayores precisiones arroja, y el más utilizado a escala de laboratorio. En comparación con otros métodos de separación posee los menores índices de error de acuerdo con el por ciento de muestra analizada. (Sing & Eckhoff, 1995).

1.5.2 Desventajas de la aplicación del método

Debido a que la fuerza que permite la separación por vía mecánica del gluten de la corriente o lechada de almidón en este método es la fuerza de gravedad la separación se efectúa de forma relativamente lenta. Este método requiere un área de trabajo amplia en comparación con otros ya que para que se efectúe una separación eficiente el efluente debe recorrer una gran superficie. Además, requiere varios ajustes para su ejecución como la gravedad específica de la lechada de almidón y la tasa de flujo del molino. (Sing & Eckhoff, 1995)

1.6 Método de Centrifugación

El almidón y las proteínas también se pueden separar mediante centrifugación por lotes debido a la mayor densidad media de los gránulos de almidón ($1,5 \text{ g/cm}^3$) en comparación con la densidad de las partículas de proteína ($1,1 \text{ g/cm}^3$) (Gausman et al, 1952), (Biss & Cogan, 1988) y (Steinke & Johnson, 1991). Después de la centrifugación, el líquido en la parte superior de las capas de almidón y proteína separadas se decanta, y la proteína que se encuentra sobre el almidón, se raspa. Más agua es agregada al almidón parcialmente limpio, en la centrifugación, y el ciclo de inclinación y raspado se repite hasta que el almidón se obtenga con la calidad requerida. Pelshenke y Lindemann (1954) utilizaron ambos centrifugación y tabulación para eliminar las proteínas del almidón. La suspensión de almidón de molino se centrifuga tres veces con agua desde arriba, suspendido de nuevo en agua y pasado sobre una mesa para hacer una separación final.

1.6.1 Ventajas del uso de las Centrífugas

La principal característica beneficiosa de las decantadoras centrífugas es su habilidad para remover sólidos separados desde la zona de separación sobre una base completamente continua. En comparación con:

- Sedimentación de gravedad: el *decanter* puede lograr separaciones que serían muy difíciles en un clarificador o separador de *Lamella*, y produce sólidos secos.
- Hidrociclones: el *decanter* tiene una capacidad líquida mucho mayor, puede manejar concentraciones de lodo líquido mucho mayores y producir muchos sólidos secos.
- Centrífugas tipo *Bowl* tubular: el *decanter* ofrece más altas capacidades, la habilidad para manipular lodos concentrados, y operación continua.
- Centrífugas de cesta imperforada: el *decanter* opera continuamente, puede manipular concentraciones de sólidos mucho más altas y produce sólidos mucho más secos.
- Centrífuga de pila de discos: el *decanter* está realmente en continua operación, puede manejar concentraciones de sólidos mucho más altas en el lodo líquido de alimentación y producir sólidos secos (Johnson, 2005).

Las ventajas del *decanter* son su amplio rango de uso potencial, junto con su continua operación, su habilidad para aceptar un amplio rango de concentraciones de alimentación, y su disponibilidad en un amplio rango de capacidades de alimentación. El *decanter* centrífuga puede ser usado para la mayoría de los tipos de separación líquido/sólida. Puede ser usado para la clasificación de sólidos en suspensiones líquidas o para la clarificación de líquidos. También puede ser utilizado en la recuperación de un valioso sólido desde su suspensión en el líquido y puede lavar el sólido recuperado desde su licor madre. El *decanter* también puede deshidratar lechadas a un alto nivel de secado y puede finalmente ser operado para actuar como espesante, produciendo líquido limpio y mayor concentración de lodos líquidos.

1.6.2 Desventajas del uso de la Centrífuga *Decanter*

En comparación con otros equipos de separación sólido-líquido, las centrífugas decantadoras tienen algunas desventajas. A continuación, se muestra una lista de las principales restricciones:

- Gastos monetarios: Las centrífugas decantadoras cuestan más que los filtros y separadores similares. Las mejoras en el rendimiento y las opciones de prevención del desgaste aumentan aún más este costo.
- Separación de partículas ligeras: Las centrífugas utilizan la diferencia de gravedad específica entre sólidos y líquidos para separar. Cuando los sólidos (como las células biológicas) tienen una gravedad específica cercana a la de los líquidos, el decántmetro no puede separarlos.

- Requisitos de energía: Un motor de alta potencia impulsa la centrífuga decantadora. Estos motores de accionamiento requieren una corriente de funcionamiento más alta que el filtro.
- Ruido y vibración: Las centrífugas decantadoras tienen recipientes giratorios pesados. La rotación del peso provoca vibraciones, lo que genera ruido. Estas centrífugas pueden producir niveles de ruido en el rango de 70 a 80 dB (Barber, 1979).

1.7 Método de Hidrociclón

Para comprobar la reproducibilidad de una técnica de laboratorio de separación de almidón-proteína utilizando hidrociclones, se fraccionaron muestras de maíz en agua de maceración, germen y fibra utilizando el procedimiento de molienda en húmedo de laboratorio de Eckhoff et al (1993). La separación de proteínas de almidón se obtuvo mediante cinco pasadas a través de un sistema de hidrociclón en lugar de una mesa de almidón. Se utilizó una mezcla de híbridos céreos comerciales secados al aire a temperatura ambiente disponible en un proyecto simultáneo. Se maceraron diez muestras de 1 kg en 2 000 ml de solución de maceración que contenía metabisulfito de sodio al 0,3 % (1 500 ppm de SO₂) y ácido láctico al 0,55 % a 50 °C durante 24 h. El sistema de hidrociclón (fig. 1.4) consistía en un hidrociclón de 10 mm (*Doxie 5*) conectado a una bomba de desplazamiento positivo (*Hydra Cell, Wanner Engineering, Minneapolis, MN*) alimentada por un tanque superior. La unidad *Doxie 5* constaba de seis hidrociclones de 10 mm en funcionamiento en paralelo. Se taparon cinco de estos hidrociclones usando dos tapones de goma para cada ciclón para reducir el requerimiento de alimentación y hacerlo adecuado para la operación a escala de laboratorio (Todoagro. 2009).

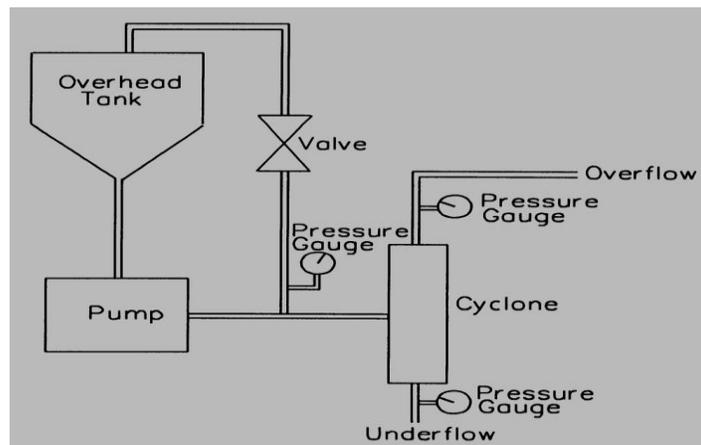


Figura 1.4. Diagrama esquemático de un hidrociclón utilizado para la separación almidón-proteína. **Fuente:** (N. Singh & Sr. Eckhoff, 1996).

La presión de entrada del hidrociclón se controló recirculando parte de la capacidad de la bomba de regreso al tanque superior. Tanto el flujo inferior como el desbordamiento del hidrociclón fueron valvulados, pero las válvulas se mantuvieron abiertas durante la prueba. Después de la separación de las fibras, la suspensión de almidón de molienda se ajustó con agua fresca a una densidad de 1-2 °Be (sp gr 1,0069-1,0140). A continuación, se añadió este almidón molido al tanque de hidrociclón superior. La presión de entrada del hidrociclón se ajustó a 8,96-9,65 bar (130-140 psi). Los estudios preliminares mostraron que las presiones > 9,65 bar (140 psi) arrojarían partículas de proteína de mayor tamaño a la fracción de almidón; presiones < 8,96 bar (130 psi) arrojarían partículas de almidón de menor tamaño a la fracción de proteína. La suspensión de almidón obtenida en el flujo inferior se mezcló con 4 000 ml de agua y se pasó de nuevo a través del hidrociclón para lavar y limpiar el almidón. Se utilizaron cinco pases de lavado para limpiar el almidón.

1.7.1 Ventajas de la separación por hidrociclones

Al comparar con otras máquinas de clasificación, la mayor ventaja de hidrociclón es que no tiene partes móviles. Por lo tanto, tiene una estructura simple y es fácil de usar y mantener. Mientras tanto, tiene gran volumen unitario y gran capacidad. También puede funcionar en muchas condiciones de trabajo y sólo cubrir el área más pequeña. Además de éstos por encima, tiene ventajas de alta eficiencia de la clasificación, el tamaño excelente de la separación y fuerte capacidad de trabajo. (N. Singh & Sr. Eckhoff, 1996).

1.7.2 Desventajas de la separación por hidrociclones

Cuando en los hidrociclones la parte líquida de la corriente suministrada se procesa con movimiento de alta velocidad, los cilindros, tubos de alimentación y otras partes del equipo sufren desgaste rápidamente. Por consiguiente, estas condiciones llevan a grandes pérdidas de energía. Otra desventaja de uso de estos equipos es que la presión de alimentación, alimento concentrado y el tamaño de partícula de la corriente influyen directamente en el índice de la clasificación. (N. Singh & Sr. Eckhoff, 1996).

1.8 Método de Cribado o Batería de Tamices

Neryng y Reilly (1984) separaron la fracción de almidón y proteína utilizando tamices estándar US No. 200 (74 µm) y No. 270 (53 µm). La proteína, que se recuperó como los excedentes de ambos tamices, se lavó para separar completamente el almidón. El almidón se recuperó como el desbordamiento del tamiz de 270 mallas. Las partículas de almidón son del orden de 10-30 µm

de diámetro; mientras que, las partículas de proteína (gluten) son típicamente del orden de 5-10 μm de diámetro (Singh, 1994).

La separación exitosa de almidón y proteína se llevó a cabo con malla 270. El tamiz no se puede explicar fácilmente ya que tanto el almidón como la proteína las partículas deben pasar a través del tamiz de 53 μm . Los valores de rendimiento eran comparables a otros métodos de separación almidón y proteína. Aunque el contenido de proteína en el almidón era alto (1,29 %), hubo una reducción del contenido de proteína original del 8,5-9,5 % en el molino almidón. Una explicación es que el filtrado del almidón de molino fue hecho estáticamente. Si el tiempo de filtración fue suficientemente largo, la separación entre el almidón y la proteína podría ocurrir en el Embudo de *Buchner* con la proteína flotando en la parte superior, como lo haría en una mesa de almidón. El almidón pasaría por el tamiz mientras que la proteína más pegajosa cubriría la pantalla del tamiz (Boyer, 2003).

1.8.1 Beneficios del uso de la técnica de tamizado

Los beneficios de la técnica de tamizado incluyen un manejo simple, bajo costo de operación, pruebas precisas y reproducibles en un tiempo relativamente corto y la probabilidad de separar las fracciones de tamaño de partícula. Es un método económico ya que el costo de instalación es muy bajo. Se necesita menos tiempo en comparación con otros métodos de separación. Por tanto, este método es una alternativa acertada.

1.8.2 Desventajas del tamizado

Su gran desventaja es encontrar proveedores que garanticen un tamaño uniforme de poro en todo el tamiz, al igual que el posible taponamiento que se puede presentar cuando las muestras tienen humedades superiores al 5 % (De Blas, 2017).

Conclusiones parciales

1. Los métodos de separación gluten – almidón se basan principalmente en las diferencias de densidades de las partículas y en la granulometría de los mismos.
2. Por su gran contenido de proteínas, valor nutricional y alta digestibilidad en animales el gluten es de gran importancia para su uso en producciones alternativas.
3. De acuerdo con la bibliografía consultada, los principales métodos de separación gluten – almidón son la Tabla o Plano Inclinado, la Centrifugación, por medio de Hidrociclones y usando Batería de Tamices.

Capítulo 2

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA LA SEPARACIÓN ALMIDÓN - GLUTÉN.

En el capítulo anterior se hizo una caracterización de los métodos citados en la bibliografía empleados para la separación gluten - almidón. Luego se expusieron las ventajas y desventajas que poseían cada uno. Partiendo de lo anterior se puede decir (tomando como referencia lo expuesto en la bibliografía) que existen cuatro métodos de separación fundamentales que se pueden emplear para separar el gluten del almidón en la etapa de refinación del mismo. La importancia del tema de selección de una tecnología de separación, como objeto de estudio, radica en la gran preocupación en el ámbito ambiental, económico y social del territorio que emana el vertimiento de estos como desecho y la variante de ser útil en producciones alternativas.

En este capítulo se realiza una descripción de los fundamentos teóricos, principales equipos y principios de funcionamiento de cada tecnología citada, además de los procedimientos y metodología a tener en cuenta para la selección de la más adecuada, partiendo del método Delphi y tomando como referencia el criterio de los expertos.

2.1 Fundamentos teóricos del Método de Presentación, Tabla o Plano Inclinado

El uso de esta variante de separación tiene como principio físico la diferencia de densidad entre las partículas del gluten y el almidón. En este método la suspensión de almidón / gluten se hace circular sobre un plano inclinado, donde se produce la sedimentación de la fracción amilácea, en tanto que la proteína queda en suspensión.

2.2 Fundamentos teóricos del Método de Centrifugación

Las centrifugas logran la separación por medio de la fuerza gravitacional acelerada lograda por una rotación rápida. Esto puede ya sea reemplazar la gravedad normal en la sedimentación de la suspensión o proporcionar la conducción de fuerza en la filtración a través de un medio filtrante de algún tipo. La aplicación más común es la separación de sustancias sólidas desde suspensiones altamente concentradas. Utilizado en esta forma para tratamiento de lodo de aguas residuales habilita la deshidratación con la producción de más o menos sedimento consistente dependiendo de la naturaleza del lodo a ser tratado, y el espesamiento acelerado de lodo de baja concentración.

La separación es similar en principio a lo logrado en un proceso de separación de gravedad. La fuerza motriz es más alta porque es resultado de la rotación del líquido: en el caso de la sedimentación, donde la fuerza motriz es el resultado de la diferencia en densidad entre las partículas sólidas y el líquido, la separación es lograda con una fuerza de 1 000 a 20 000 veces la de la gravedad (Knight, 2017).

2.2.1 Tipos de Centrífugas

La mayoría de centrífugas giran gracias a algunos tipos de impulsión de motor. Los tipos de centrífuga utilizados para la separación líquido - sólido incluyen:

- *Bowl* tubular: La centrífuga bowl tubular ha sido usada por más largo tiempo que la mayoría de otros diseños de centrífuga. Está basada en una geometría muy simple: está formada por un tubo que de largo es varias veces su diámetro y gira entre cojinetes a cada extremo. La corriente de proceso entra al fondo de la centrífuga y una fuerza centrífuga alta actúa para separar los sólidos. La masa de sólidos se adherirá a las paredes del *bowl*, mientras que la fase líquida sale en la parte superior de la centrífuga. Ya que este tipo de sistema carece de una provisión de rechazo de sólidos, los sólidos pueden únicamente ser removidos deteniendo la máquina, desmantelarla y raspar o enjuagar los sólidos manualmente. Las centrífugas de tipo *bowl* tubular tienen capacidad de deshidratación, pero su capacidad de sólidos es limitada. La espuma puede ser un problema a no ser que el sistema incluya bombas desnatadoras o centrípetas especiales.
- Cámara *Bowl*: La centrífuga de tipo *bowl* cámara es un número de *bowl* tubulares ordenados coaxialmente. Tiene un *bowl* principal que contiene insertos cilíndricos, los cuales dividen el volumen del *bowl* en una serie de cámaras anulares que operan en serie. El alimento entra al centro del *bowl* y la suspensión pasa a través de cada cámara sucesivamente, a distancias incrementadas desde el eje. Los sólidos se establecen en la pared exterior de cada cámara y el líquido clarificador emerge desbordándose por el diámetro más grande de la cámara. Este dispositivo también proporciona una clasificación de los sólidos suspendidos: las partículas gruesas se depositan en la cámara interna y la partícula cada vez más fina se depositan en las cámaras subsecuentes. La remoción de sólidos sedimentados requiere la detención de la rotación para limpieza manual.
- Cesta imperforada: La centrífuga de tipo cesta imperforada se usa cuando el sólido, contenido de la suspensión, es alto. Está compuesto por una simple cesta en forma de

tambor o *bowl*, que usualmente gira alrededor de un eje vertical. Los sólidos se acumulan y se comprimen como efecto de la fuerza centrífuga, pero no son deshidratados. El líquido residual es drenado cuando se detiene la rotación del *bowl*. La capa de sólidos se remueve manualmente por raspado o retirándola con pala. La descarga puede ser lograda primero, de manera semiautomática, usando un tubo desnatador para remover el líquido residual y luego, bajando una hoja de cuchilla dentro del sólido y cortándolo del *bowl*. Esto permite evitar la desconexión de la máquina.

- Separador de pila de disco: Este diseño aún más simple es un *bowl* cerrado que contiene la pila de discos con cualquier sólido presente colectándose en la parte exterior del *bowl*, desde el cual tienen que ser removidos manualmente después de detener la rotación. Los sólidos son descargados desde el *bowl* por un número de métodos, incluyendo el uso básico de boquillas que son abiertas continuamente permitiendo la descarga de un lodo grueso. En los diseños más complicados, las boquillas valvuladas se abren automáticamente cuando la profundidad sólida en el *bowl* alcanza un cierto valor, y luego se cierra nuevamente cuando la mayoría de los sólidos han sido descargados. En la mayoría de los diseños complejos el *bowl* está abierto: su caparazón se divide circunferencialmente por un corto periodo, con la abertura también controlada por la profundidad de sólidos en el *bowl*.
- *Decanter*: La centrífuga *Decanter* es la centrífuga más afín diseñada desde el comienzo para manejar las suspensiones en la industria de los cereales (figura 1.4). Al mismo tiempo puede lograr muy buenos niveles de clarificación de líquidos concentrados. A pesar de ser una pieza compleja de maquinaria, encarna un principio simple. Esta se compone básicamente de un *bowl* cilíndrico horizontal (1) que gira a una alta velocidad, con un tornillo de extracción helicoidal (2) ubicado coaxialmente. El tornillo encaja perfectamente en el contorno interno del *bowl*, solo permitiendo una holgura entre el *bowl* y el rollo. La velocidad diferencial entre el tornillo y el rollo proporciona el movimiento de transporte para coleccionar y remover los sólidos, que se acumulan en la pared del *bowl*.

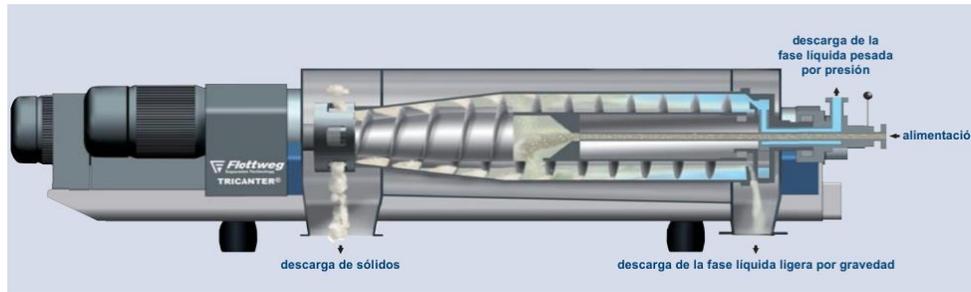


Figura 2.1. *Tricanter flottweg*, tipo de centrífuga decantadora. **Fuente:** (El Forraje, 2019).

2.3 Fundamentos y principios de funcionamiento de un hidrociclón

El dispositivo simple para usar fuerza centrífuga para lograr la separación es el hidrociclón. Realmente no es una centrífuga: la separación centrífuga es producida por el movimiento la lechada, inducido por introducción tangencial del material de alimentación. Su principio de operación está basado sobre el concepto de la velocidad de asentamiento terminal de una partícula sólida en un campo centrífugo

El alimento entra tangencialmente en la sección cilíndrica del hidrociclón y continúa por un camino de circulación con un flujo neto, hacia adentro del fluido, desde el exterior, al buscador de vórtice en el eje. El campo centrífugo generado por las altas velocidades de circulación, crean un núcleo de aire en el eje que usualmente se extiende sobre la espita abriéndose al fondo de la sección cónica a través del buscador de vórtice hacia el desbordamiento en la parte superior. Esto con el fin de que esto ocurra, el campo de fuerza centrífuga debe ser varias veces más grande que la gravitacional. Las partículas que experimentan este campo centrífugo tenderán a moverse hacia afuera en relación con el líquido portador debido a su relativamente alta densidad. Las partículas más grandes y más pesadas migrarán rápidamente a las paredes exteriores de la sección cilíndrica y entonces serán forzadas a moverse hacia abajo al interior de la pared cónica. Las partículas pequeñas, por otro lado, serán arrastradas al interior por el fluido a medida que se mueve hacia el buscador de vórtice. La separación de sólido ocurre en el paso de la suspensión a lo largo del cilindro del hidrociclón, para formar lodo espeso en la pared exterior, que entonces sale del hidrociclón como una corriente continua desde su boquilla de descarga.

2.3.1 Tipos de Hidrociclones

Las principales familias de hidrociclones de entrada tangencial son:

- Ciclones de alta eficiencia.
- Ciclones convencionales.

- Ciclones de alta capacidad.

El rango de eficiencia de control para los hidrociclones convencionales se estima que está comprendido entre el 70 y el 90 % para partículas con diámetros superiores a 20 μm , entre el 30 y 90 % para partículas con diámetros superiores a 10 μm y de 0 a 40 % para partículas con diámetros desde 2,5 μm (Krochta, 2017).

Los hidrociclones de alta eficiencia están diseñados para alcanzar mayor remoción de las partículas pequeñas que los convencionales. Las eficacias de control para este tipo de hidrociclones varían entre el 80 y el 99 % para partículas con diámetros superiores a 20 μm , entre el 60 y el 95 % para partículas con diámetros superiores a 10 μm y del 20 al 70 % para partículas con diámetros superiores a 2,5 μm . Los hidrociclones de alta eficiencia tienen mayores caídas de presión, lo cual requiere de mayores costos de energía. Por lo general, el diseño del ciclón está determinado por una limitación especificada de caída de presión, en lugar de cumplir con alguna eficiencia de control especificada.

Los hidrociclones de alta capacidad están garantizados solamente para remover partículas mayores de 20 μm , aunque en cierto grado ocurra la colección de partículas más pequeñas. Los intervalos en que varía la eficacia de control de los ciclones de alta capacidad son del 80 al 99 % para partículas con diámetros superiores a 20 μm , del 10 al 40 % para partículas con diámetros superiores a 10 μm y del 0 al 10 % para partículas con diámetros superiores a 2,5 μm .

2.4 Consideraciones sobre la operación de tamizado

El tamizado consiste en la colocación delicada del material a tamizar (carga) encima del medio tamizante con una determinada abertura nominal y separa el material en función de su granulometría, por medios tales como agitación, movimiento de vaivén o lavado del material.

Antes de iniciar el tamizado, las siguientes condiciones deberán ser estipuladas:

- La vía por la cual se realizará el ensayo: vía seca o vía húmeda
- El número de tamices a utilizar y sus aberturas nominales
- El diámetro de los tamices
- El tipo de tamiz y de su forma geométrica cuando se trate de chapas perforadas.

2.5 Lanzamiento del estudio

Con la elaboración de medios auxiliares, principios, reglas, y estrategias que faciliten la búsqueda de una vía de solución para la selección de la tecnología se toma como referencia un diagrama heurístico (figura 2.1). Los procedimientos heurísticos son formas de trabajo y de pensamiento que apoyan la realización consciente de actividades mentales exigentes. Los procedimientos heurísticos como método científico pueden dividirse en principios, reglas y estrategias. Se trata de un gráfico visual que intenta resolver un problema o razonamiento con el propósito de comprender visualmente dicho problema y su solución.

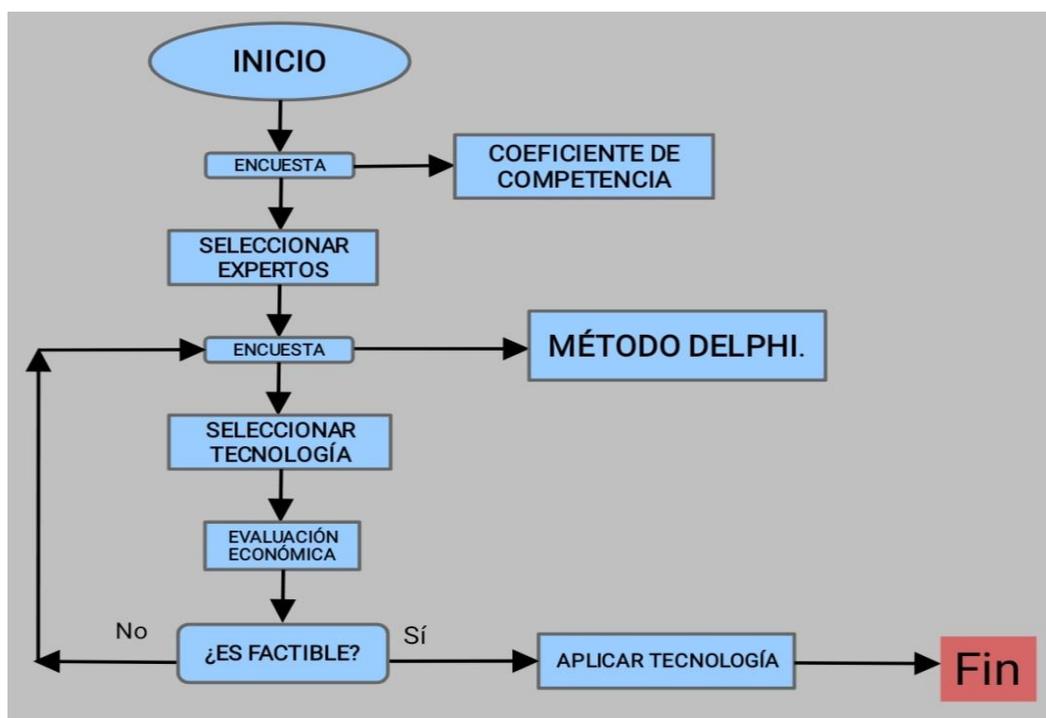


Figura 2.1. Diagrama Heurístico para la selección de la tecnología a aplicar. **Fuente:** Elaboración propia.

2.5.1 Método *Delphi*

La aplicación del método científico pretende la resolución de una problemática concreta a través de un proceso de representación de la realidad mediante un modelo confiable, consistente y no arbitrario (Ortega, 2008). Entre los métodos cualitativos empleados en el método científico destaca el método *Delphi* como uno de los más utilizados en la investigación científica en situaciones problemáticas que incluyen desde la identificación de tópicos hasta la elaboración de instrumentos de análisis y recogida de información, destacando su utilidad en el ámbito de las ciencias técnicas en general (Cabero & Infante, 2014).

El método *Delphi* es un método prospectivo basado en expertos (Ortega, 2008; Turoff & Linstone, 1976) que se define como un “proceso sistemático e iterativo encaminado a la obtención de las opiniones y, si es posible el consenso, de un grupo de expertos” (Landeta, 2005) considerando a estos como personas que “tienen una estrecha relación sobre la cuestión, sector, tecnología u objeto de la investigación” (Landeta, 2002). Su metodología es apropiada para la obtención de información a partir de los expertos en función de los conocimientos del sector y la capacidad y la habilidad para analizar los ítems consultados resultando especialmente adecuada en las áreas de conocimiento “complejas, dinámicas, ambiguas y con falta de información” por su bajo coste en la obtención de la misma (Ortega, 2008). Además, su uso se ha sido recomendado en aquellos estudios en los que se muestra una baja tasa de información sobre evidencias empíricas previas (Asselin & Harper, 2014; Falzarano & Pinto Zipp, 2013).

2.5.2 Metodología para la selección de criterio de expertos

La selección de las soluciones a diversos problemas basada en las recomendaciones de expertos en temas específicos, es muy frecuente y fundamental en la actualidad. Al igual que la entrevista y la encuesta, el criterio de expertos, es una de las herramientas multicriterio más utilizada en la ingeniería y que ocupa un lugar importante entre los métodos de investigación empírica (M. Cruz & Martínez, 2012). Al utilizar expertos en la toma de decisiones, estos juegan un rol importante en la solución del problema, ya que esta depende de la preparación y el conocimiento de los expertos seleccionados (A. Cruz, Presiga, & Rodríguez, 2012; Escobar & Cuervo, 2008; Garza, González, & Salinas, 2005). Es por esto que resulta indispensable realizar un proceso de selección que garantice la mayor confiabilidad posible en los resultados a obtener.

Independientemente a que en varias investigaciones existan disímiles metodologías para la selección de la comunidad de expertos (Artola, 2002; Crespo, 2009; M. Cruz & Martínez, 2012), se utiliza hace varios años la desarrollada por (Evlanov y Kutusov, 1978), implementada por el Comité Estatal para la Ciencia y la Técnica de la URSS. En las últimas décadas esta metodología ha estado sometida a mejoramientos por diferentes investigadores, como el perfeccionamiento estadístico de la escala Likert realizado por (Campistrous Pérez and Rizo Cabrera, 1998), el cual es el más utilizado actualmente en las investigaciones. Según (Campistrous Pérez and Rizo Cabrera, 1998), los procedimientos para objetivar la selección de expertos pueden ser de tres tipos:

- Los que descansan en la autovaloración de los expertos.

- Los que descansan en la valoración realizada por un grupo.
- Los que descansan en alguna evaluación de las capacidades del experto.

Los procedimientos más generalizados tienen su fundamento en el primero, basado en la opinión personal de los expertos. Uno de los más utilizados es el que consiste en la determinación del coeficiente de competencia del experto, para lo que se toma en cuenta la autovaloración del experto acerca de su conocimiento y de las fuentes que le permiten argumentar sus criterios.

Estos métodos conceden escasa confiabilidad, ya que el mayor peso en la selección descansa en la propia autovaloración del experto, por lo que se considera existe una problemática al identificarse la necesidad de incrementar la confiabilidad en el proceso de selección de la comunidad de expertos. Por esta razón, en este trabajo se utiliza un procedimiento que permite seleccionar la comunidad de expertos, a partir de la utilización de técnicas multicriterio como contribución a elevar la confiabilidad del proceso. Por consiguiente, para la selección de los expertos se utilizarán las encuestas (Anexo 1) en conjunto con el método del Coeficiente de Competencia.

2.5.3 Coeficiente de competencia

Para la selección del experto se tiene en cuenta la experiencia, el nivel de información que pueda aportar y el nivel técnico que tenga (Cortés Cortés & Iglesias León, 2004). Para determinar el número de expertos que participarán se utilizará la siguiente expresión:

$$n = \frac{p(1-p)*k}{i^2} \quad (2.1)$$

donde:

n: Cantidad o número de expertos

p: Proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con la cantidad de expertos. En este caso $p = 0,02$.

i: Precisión del experimento. Debe ser $i \leq 0,12$. En este caso $i = 0,091$.

k: Constante que depende del nivel de significación estadística $(1 - \alpha)$, que se obtiene a través de la tabla 2.1, en este caso se trabaja con 3,8416.

Tabla 2.1. Coeficientes de significación estadística

1 - α	K
99 %	6, 6564
95 %	3, 8416
90 %	2, 6896

Fuente. (Cortés Cortés & Iglesias León, 2004)

Para medir la calidad del panel se pueden emplear distintos procedimientos que permiten estimar el nivel de conocimiento experto (López Gómez, 2018). Una primera posibilidad tiene en cuenta indicadores indirectos como son las publicaciones sobre el tema, citas recibidas, años de experiencia, formación, puestos ocupados, dedicación y trayectoria profesional, etc. Otra alternativa, con diferencia la más empleada dada su facilidad de uso, es la autovaloración del grado de conocimiento por parte del propio experto, quien al responder a un conjunto de preguntas expresa su grado de conocimiento sobre el objeto de investigación. En este sentido, se ha propuesto el denominado índice de Competencia Experta (K) (Blasco, López, & Mengual, 2010). Para calcular este índice, se emplea el siguiente parámetro: donde K_c es el «Coeficiente de conocimiento» que tiene el experto acerca del tema de investigación y K_a es el «Coeficiente de argumentación» o fuentes de criterio de cada experto. El primero de ellos (K_c) se calcula a partir de la autovaloración que realiza el propio experto en una escala 0-10, multiplicado por 0,1 (Anexo 4). En cambio, el (K_a) se obtiene a partir de la auto asignación por parte del experto de puntuaciones a distintas fuentes de argumentación en las que se basa su conocimiento experto (análisis teórico sobre la temática, la experiencia profesional, participación en proyectos de investigación, entre otras) (Anexo 4). El resultado del índice de Competencia Experta es una puntuación en una escala 0-1, donde a partir de 0,8 puntos se considera un valor alto de competencia experta.

En este procedimiento se da por hecho que los expertos son fiables en sus autovaloraciones, es decir, que el conjunto de autovaloraciones de los expertos estima de modo adecuado el grado de experticia del panel. Además, se asume que los expertos con antecedentes relevantes en el objeto de estudio ofrecerán mejores resultados que aquellos cuyo conocimiento experto es menor

(Anexo 4), como resultado de sus autovaloraciones. Los resultados de estos estimadores de calidad del panel permiten al administrador orientar la toma de decisiones, ya sea para descartar la participación de algún experto seleccionado previamente, o bien, si se estima conveniente, establecer distintos subgrupos de expertos en función de sus autovaloraciones (López Gómez, 2018).

Resulta válido destacar que:

- La Competencia del experto es Alta (A): Si $K_{competencia} > 9,00$
- La Competencia del experto es Media (M): Si $7 < K_{competencia} \leq 9,00$
- La Competencia del experto es Baja (B): Si $K_{competencia} \leq 7,00$

2.5.4 Análisis del criterio de experto

Luego de terminar la selección del número de expertos (Anexo 3) se procede a realizar una encuesta a los mismos (Anexo 1) para determinar, según su criterio, el orden de prioridad de las variantes de posibles soluciones teniendo en cuenta los criterios analizados mediante el método Delphi (Cortés.M & León.M, 2004). Para recopilar los resultados de la encuesta se realiza la matriz de selección que se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Matriz de selección.

Alternativa		Experto									Cálculo de indicadores				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_i	Z	Δ	Δ^2	Ω
1															
2															
3															
4															

Donde:

M: número de expertos

A_{ij} : Juicio de importancia del experto i sobre el requisito j

Δ : Es la desviación del valor medio que se calcula:

$$\Delta = (\Sigma A_{ij} - \zeta) \quad (2.2)$$

ζ : Factor de comparación (valor medio de los rangos) que se calcula

$$\zeta = \frac{1}{2} M(K + 1) \quad (2.3)$$

K: Número de alternativas

ω : coeficiente de Kendall

$$\omega = \frac{12 \sum \Delta^2}{M^3(K^3 - K)} \quad (2.4)$$

Si se cumple $\omega \geq 0,5$ hay concordancia y el estudio es válido. Si $\omega < 0.5$ se repite el estudio, de haber un número de expertos mayor que 7 deben eliminarse los que más variación introduce en el estudio, respetando siempre $m \geq 7$.

Para determinar la concordancia entre los expertos se realiza la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Prueba de hipótesis.

Número de alternativas	K	
Número de expertos	M	
Chi cuadrado calculado, x^2 calculado	$M(K-1)\omega$	
Chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado	$X^2(0,01;3)$	
Si x^2 calculado $>$ x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos		

Fuente. (Cortés.M & León.M, 2004)

2.6 Metodología de análisis del costo-beneficio

El análisis del costo-beneficio es un proceso que, de manera general, se refiere a la evaluación de un determinado proyecto, de un esquema para tomar decisiones de cualquier tipo. Ello involucra, de manera explícita o implícita, determinar el total de costos y beneficios de todas las alternativas para seleccionar la mejor o más rentable. Este análisis se deriva de la conjunción de diversas técnicas de gerencia y de finanzas con los campos de las ciencias sociales, que presentan tanto los costos como los beneficios en unidades de medición estándar usualmente monetarias para que se puedan comparar directamente.

La técnica del costo-beneficio se relaciona de manera directa con la teoría de la decisión. Pretende determinar la conveniencia de un proyecto a partir de los costos y beneficios que se derivan de él. Dicha relación de elementos, expresados en términos monetarios, conlleva la posterior valoración y evaluación.

Es importante señalar que tomar una decisión implica elegir entre dos o más cursos de acción alternativos, por lo que el costo de oportunidad es otro factor a tener en cuenta, pues representa lo que se deja de ganar por haber rechazado el valor de la siguiente mejor opción. Siguiendo esta lógica, uno de los preceptos que propone el análisis costo-beneficio consiste en que no

importa que tan adecuada sea la solución otorgada a un problema, la alternativa, o la propuesta, pues no dejará de tener un costo. En tal sentido, algunas cuestiones clave en el análisis serían:

- Si el costo de la solución sobrepasa el del problema.
- Si la solución es más cara pero trae mejorías que no se cuantifican en términos monetarios e influyen en el aspecto social.
- ¿Se debe considerar aquella información que afecta los posibles cursos de acción?

En fin, cada análisis es diferente y requiere un pensamiento cuidadoso e innovador, pero eso no quiere decir que no se tenga una secuencia estándar de pasos y procedimientos a seguir. Los pasos comunes a realizar en el análisis costo-beneficio serían los siguientes:

- Formular los objetivos y metas que se persiguen con el proyecto.
- Examinar los requerimientos y limitaciones.
- Determinar y/o estimar en términos monetarios los costos y beneficios relacionados con cada opción.
- Incorporar toda la información importante además de los datos de costos y beneficios de cada una de las alternativas.
- Distribuir los costos y beneficios a través del tiempo.
- Convertir la corriente futura de costos y beneficios a su valor actual.
- Establecer una relación donde los beneficios sean el numerador y los costos el denominador (beneficios/costos).
- Tomar la decisión en función del enfoque utilizado, las metas y los objetivos.

Para decidir la mejor alternativa se pueden considerar otras herramientas, entre las que se destaca la utilización de métodos y criterios de valoración de proyectos que toman en cuenta el valor del dinero en el tiempo. Por otra parte, existen diversos enfoques en el análisis del costo-beneficio pero, en esencia, el objetivo es la cuantificación máxima posible de los beneficios y costos en términos monetarios. Por ende, para el logro de los pasos referidos, se deben dominar los conceptos de este análisis.

Desde el punto de vista de las ciencias empresariales, el costo se define, generalmente, como el conjunto de recursos sacrificados o dados a cambio de alcanzar un objetivo específico. Se mide en unidades monetarias que deben ser pagadas para adquirir bienes o servicios. Por tanto, es un

valor empleado para la elaboración de un producto o la prestación de un servicio. La incursión en los diferentes costos se realiza para obtener beneficios presentes o futuros. Cuando estos se consiguen, los costos se convierten en gastos, por lo que estos últimos se consideran como un costo que ha producido un beneficio que ya ha expirado (Horngren y Foster, 2007).

El costo está vinculado generalmente a la producción, pero es aplicable a cualquier tipo de actividad. Su propósito no es solo obtener beneficios, sino también ser un instrumento para el control y la toma de decisiones. En estos aspectos coinciden, de manera general, Amat y Soldevila (2000); Mallo, Kaplan y Meljem (2000); Cuevas (2001); Polimeni, Fabozzi y Adelberg (2005); Horngren (1991) y Chacón (2009). La gerencia necesita conocer el costo del producto elaborado, pues este contiene una información de suma importancia que le permite medir sus ingresos y fijar el precio. Asimismo, constituye un indicador fundamental, al permitir la comparación de los resultados obtenidos en distintos períodos, y ayudar así a encontrar nuevas vías para el uso racional, óptimo y planificado de los recursos productivos.

El beneficio, por su parte, es la ganancia que se obtiene de una inversión o actividad comercial. Para su cálculo se debe determinar el costo del problema y el de la solución. Esta última constituye una expresión para designar la ganancia que se obtiene en una actividad determinada. El valor del beneficio se obtiene deduciendo los costos totales de los ingresos totales. Por tanto, la diferencia entre lo que se gasta en la producción o prestación de un servicio y el precio de la venta es la ganancia obtenida.

Al determinar los beneficios asociados a un proyecto específico, así como sus costos, se realiza una comparación que permite decidir si es adecuada la alternativa. Cuando los beneficios exceden los costos, es provechoso el resultado del proyecto, o sea, genera una utilidad o beneficio neto; en cambio, si sucede lo contrario, el proyecto no resulta ventajoso.

La evaluación que se realiza en el análisis costo-beneficio permite obtener el rendimiento de un proyecto o negocio. Este resulta rentable cuando los beneficios que se obtienen permiten recuperar lo invertido teniendo en cuenta la tasa deseada por el inversionista o empresario.

Para saber si un proyecto es viable bajo este enfoque, se debe considerar la comparación de la relación B/C hallada con 1. Así:

Si $B/C > 1$, esto indica que los beneficios son mayores a los costos. En consecuencia el proyecto debe ser considerado.

$B/C = 1$, significa que los beneficios igualan a los costos. No hay ganancias. Existen casos de proyectos que tienen este resultado por un tiempo y luego, dependiendo de determinados factores como la reducción de costos, pueden pasar a tener un resultado superior a 1.

$B/C < 1$, muestra que los costos superan a los beneficios. En consecuencia, el proyecto no debe ser considerado.

Conclusiones parciales

1. Para identificar la variante tecnológica y proponer la posible implementación de esta se emplea el criterio de expertos por el Método Delphi
2. El análisis económico permite determinar la viabilidad de aplicación de la tecnología seleccionada.

Capítulo 3

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En este capítulo se refleja el resultado de la aplicación del método Delphi para la selección tecnológica a partir de la encuesta aplicada a un grupo de expertos de la Empresa GydeMa. A partir de la selección se evalúa económica, ambiental y tecnológicamente la tecnología seleccionada para concretar los resultados obtenidos.

3.1 Análisis de los resultados del criterio de expertos

Lanzamiento del estudio (Método TZ Combinado)

Se determina el número de expertos que participarán mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{p(1-p) * k}{i^2} \quad (\text{Ec. 1})$$

En este caso:

n – Cantidad o número de expertos.

p – Proporción de error que se comete al hacer estimaciones del problema con la cantidad de expertos. En este caso $p = 0,02$.

i – Precisión del experimento. Debe ser $i \leq 0,12$. En este caso: $i = 0,091$

k – Constante que depende del nivel de significación estadística ($1 - \alpha$ -), que se obtiene a través de la Tabla 3.1, en este caso se trabaja con 3,84166

Tabla 3.1. Coeficientes de significación estadística

$(1 - \alpha)$	k
99 %	6,6564
95 %	3,8416
90 %	2,6896

Sustituyendo valores en (Ec. 1) se tiene que: $n = \frac{p(1-p) * k}{i^2} = 9,09 \approx 9$

Como resultado se obtuvo que, de los 26 candidatos propuestos para el desarrollo de la investigación, ninguno presenta evaluación de baja competencia, mientras 9 resultan evaluados de alta competencia y 17 presentan competencia media. (Anexo 2)

Decisión multicriterio de experto.

Luego de terminar la selección, el número de experto y el orden de las variantes según los criterios analizados mediante el método *Delphi* se procede a realizar una encuesta a los expertos para determinar, según su criterio, el orden de prioridad de las variantes teniendo en cuenta los

criterios analizados para los cuales se darán los valores de 1 a 10 dando el valor de 1 la mejor opción. (Anexo 5)

Para recopilar los resultados de la encuesta se realiza la matriz de selección que se muestra en la Tabla 3.2, donde M es el número de expertos, A_{ij} es el juicio de importancia del experto i sobre el requisito j, Δ es la desviación del valor medio que se calcula:

$$\Delta = (\Sigma A_{ij} - \tau) \quad (Ec. 3)$$

τ = factor de comparación (valor medio de los rangos) que se calcula

$\tau = \frac{1}{2} M(K + 1)$, donde K es el número de alternativas.

Tabla 3.2. Criterio de expertos

No.	Variantes	Expertos										Cálculo de indicadores			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	ΣA_{ij}	ζ $M(K+1)/2$	Δ $\Sigma A_{ij} - \zeta$	Δ^2	ω $(12\Sigma\Delta^2)/M^2(K^3 - K)$
V1	Tabla o plano inclinado	4	4	3	4	4	3	4	3	4	33	↓	11	110,25	↓
V2	Método de centrifugación	1	1	1	2	2	1	2	1	1	12		-11	110	
V3	Batería de tamices	3	3	4	3	1	4	3	4	3	28		6	30	
V4	Hidrociclón	2	2	2	1	3	2	1	3	2	18		-5	20	
											91	22,5		271	0,7

Tabla 3.3. Orden de importancia

2	Método de centrifugación	12
4	Hidrociclón	18
3	Batería de tamices	28
1	Tabla o plano inclinado	33

Tabla 3.4. Prueba de hipótesis

Número de alternativas	K	4
Número de expertos	M	9
Chi cuadrado calculado, $\hat{\sigma}x^2$ calculado	$M (K-1) \omega$	18,1
Chi cuadrado tabulado, x^2 tabulado	$X^2 (0,01;3)$	0,115
Como x^2 calculado $>$ x^2 tabulado, existe concordancia de criterios entre expertos		

A partir del análisis anterior la tecnología seleccionada resulta el método de **centrifugación**.

A continuación, se proponen datos técnicos a tener en cuenta en la selección del equipamiento antes mencionado, resultantes de búsquedas en el mercado internacional tomando como referencia las centrífugas existentes con prestaciones semejantes en la Empresa GydeMa.

Datos Técnicos:

Concentrador de gluten:

Nombre Qx512S-31C

Número 8810222104

Catálogo: 1270352-02 V1

Flujo 30 m³/h

rpm 4800

3.2 Evaluación Económica

Análisis Costo-beneficio

El cálculo del costo beneficio se realiza de la siguiente forma:

$$\frac{B}{C} = \frac{BO}{CI}$$

Ec. 4

Donde:

BO: Beneficio Obtenido

CI: Costos Incurridos

El Beneficio obtenido son los ingresos por ventas y se calculan de la siguiente manera:

$$BO = Pv \times Prod. \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

Pv: Precio de venta

Prod.: Producción.

Empleando la ecuación 5:

$$BO = 1\,547,30 \times 440$$

$$BO = 680\,813,53 \text{ MN/t}$$

Luego, a partir de la ecuación 4:

$$\frac{B}{C} = \frac{680\,813,53}{600\,000} = 1,13$$

A partir del cálculo anterior, como $B/C > 1$ se deduce que en un año de producción la relación costo-beneficio es favorable, da resultados positivos para la selección de la tecnología.

No obstante, la empresa GydeMa actualmente está considerada como una de las mayores contaminantes de la provincia, por lo que debe pagar trimestralmente un impuesto a la Oficina Nacional de Administración Tributaria (ONAT) de aproximadamente 40 000 MN por concepto de foco contaminante a partir de un certificado que emite el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la República de Cuba (CITMA) por el incumplimiento de la norma cubana NC 521/2007: Vertimiento de aguas Residuales a la zona costera y aguas marinas-Especificaciones, esto supone un gasto de 160 000 MN anualmente. Si se considera este valor como costo editado y se adiciona al beneficio obtenido este cálculo tendrá valores favorables como se evidencia a continuación.

Luego, a partir de la ecuación 4:

$$\frac{B}{C} = \frac{840\,813,53}{600\,000} = 1,40$$

Finalmente se concluye la viabilidad de la inserción de la tecnología seleccionada.

CONSIDERACIONES:

El costo del gluten en caso de que se implemente la tecnología según ficha de costo es de 1 547,30 MN por cada tonelada de gluten producido, lo que representa a partir del plan de producción en un año de 680 813,53 MN.

La tecnología supone un gasto de 25 000 USD, que por la tasa de cambio actual (1×24) serían 600 000 CUP.

Es válido señalar que en el proceso productivo actual se cuenta con centrifugas de prestaciones semejantes con 42 años de explotación, de aquí se concluye en el período de durabilidad de las mismas.

3.3 Evaluación Ambiental

A continuación, se establece una comparación entre los parámetros ambientales cuando existía la tecnología de separación de gluten y los parámetros actuales.

El comportamiento de la DQO y DBO₅ (Tabla 3.5) fue menor en el año 2016 en relación a los años siguientes, esto se debe a la deficiencia en el proceso productivo para la obtención de almidón de maíz a partir del año 2018, debido a la rotura de 2 centrifugas en el proceso de separación del gluten y el almidón quedando en funcionamiento de 6 centrifugas necesarias para la optimización del proceso solo 2. Por consiguiente, aumentó también la carga contaminante en el sistema de tratamiento ya que los residuales de la industria son orgánicos.

Tabla 3.5. Comparación entre las cargas contaminantes de GydeMa en diferentes períodos de producción.

Año	Variable	Parámetro medido	Parámetro normado	U/M.	Carga en t/año
2016	DBO ₅	930	30	mg/l	152,75
	DQO	1400	75	mg/l	229,95
2018	DBO ₅	1685	30	mg/l	312,43
	DQO	4602	75	mg/l	853,30
2020	DBO ₅	1314	30	mg/l	233,09
	DQO	1520	75	mg/l	269,63

Fuente: Caracterizaciones del efluente de la Planta de Tratamiento de Residuales por el Centro de Estudios Ambientales e Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (Cienfuegos).

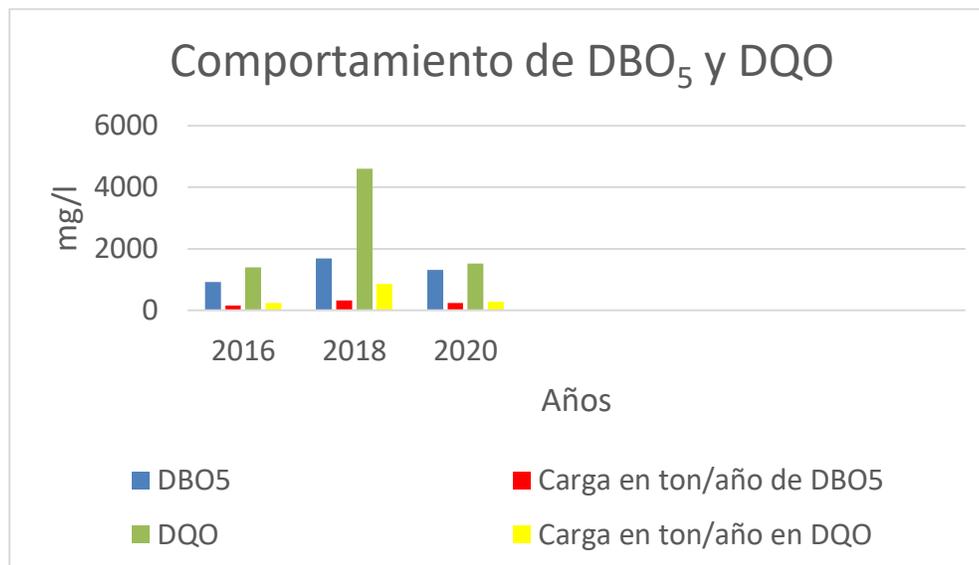


Figura 3.1. Comportamiento de indicadores DBO₅ y DQO. **Fuente:** Elaboración propia.

La propuesta se fundamenta en reducir los valores de carga contaminante elevando la eficiencia del proceso productivo y por ende disminuir el índice de consumo de maíz por tonelada de almidón.

3.4 Impacto Social

La Empresa GydeMa tiene como objeto fundamental la producción de almidón de maíz destinado a cumplir los compromisos a nivel nacional con el encargo estatal, fundamentalmente dirigido a los regímenes especiales de nutrición en niños enfermos con más de 17 patologías.

Como principio fundamental para cumplir con los parámetros óptimos de calidad del producto final se debe controlar el contenido proteico presente en el almidón, el cual debe cumplir las normas internacionales de calidad para este producto.

Para lograr estas especificaciones se debe mejorar la sección de refinación de almidón, que por diseño contaba con seis centrífugas, de las cuales solo trabajan dos en la actualidad. Esta situación trae consigo el deterioro en la calidad del producto final, ocasionando posibles afectaciones a los clientes, principalmente Asegem por el daño que produce la proteína (gluten) presente en el almidón en los niños con patologías como la celiacía, la enfermedad Wilson, la fenilcetonuria, etc.

El impacto social se fundamenta en la reducción del por ciento de proteína presente en el almidón sobre la base de la implementación de la tecnología en cuestión (Giménez, 2010).

Parámetros de referencia:

Promedio de % de proteína presente en el almidón en el año 2015: 0,5

Promedio de % de proteína presente en el almidón en el año 2021: 0,8

En los parámetros anteriores se toma como referencia el año 2015, período donde se contaba con una tecnología para separar el gluten y el año 2021 sin este tratamiento. Se puede apreciar que la implementación de una nueva tecnología con la misma finalidad de la que estaba en el período del 2015 reducirá los índices de % de proteína hasta los establecidos por las normas empresariales para la producción de alimentos.

Conclusiones parciales

1. El estudio económico denotó una relación positiva de costo/beneficio = 1,13 MN.
2. La variante tecnológica seleccionada desde el punto de vista ambiental reduce la carga contaminante que se emite a la bahía en un 14,72 % y 34,47 % la DBO₅ y la DQO respectivamente.
3. Se refleja la mejora de la calidad del almidón con la consiguiente disminución del % de proteína presente en el mismo desde 0,8 a 0,5 %, denotando el cumplimiento de los parámetros normados.

Conclusiones

CONCLUSIONES

1. Según consultas bibliográficas los métodos de separación gluten – almidón se basan principalmente en las diferencias de densidades de las partículas y en la granulometría de los mismos.
2. La variante tecnológica óptima para el aprovechamiento del gluten a partir de los métodos de selección aplicados es la centrifugación.
3. Se realizó un estudio costo beneficio que denotó una relación positiva de 1,13.
4. La variante tecnológica seleccionada desde el punto de vista ambiental reduce la carga contaminante que se emite a la bahía en un 14,72 % y 34,47 % la DBO₅ y la DQO respectivamente.
5. El impacto social de la implementación de la tecnología en cuestión se refleja en la mejora de la calidad del almidón con la consiguiente disminución del por ciento de proteína presente en el almidón desde 0,8 a 0,5 % a partir de la implementación de la tecnología, denotando el cumplimiento de los parámetros normados.

Recomendaciones

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de la tecnología seleccionada por la Empresa GydeMa.
2. Estudiar el comportamiento de la implementación de la tecnología desde el punto de vista técnico y ambiental.

Referencias
Bibliográficas

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez A. (1998). *La Visión de la Molienda Húmeda*". Dirección Nacional de Alimentación, "Análisis de la cadena de edulcorantes.
- Agronet. (2011). *Rendimiento de la producción de maíz tradicional y tecnificado en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- Almeida-Dominguez HD, Suhendro EL, & Rooney LW. (1997). *Factors affecting rapid visco analyser curves for the determination of maize kernel hardness*. 93-105.
- Álvarez A. (2003). *Estudios sobre el sector agroalimentario. Componente B: Redes Agroalimentarias. Tramas. B-10 La industria de maíz en la Argentina*.
- Álvarez A. (2006). *Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias*. En: *Maíz y Nutrición*. 9-13.
- Álvarez. A. (2006). *Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina, Volumen II: Maíz y Nutrición. Aplicaciones del maíz en la tecnología alimentaria y otras industrias. Molienda Húmeda y Molienda Seca. Cámara de Almidón*. <http://www.maizar.org.ar/pdf/Revista%20maizar%202.pdf>
- Anderson, RA. (1963). *Propiedades de molienda en húmedo de los granos*. 190-195, 221.
- Barber SA. (1979). *Corn residue management and soil organic matter*. 625-627.
- Barbieri R, Casiraghi EM. (1983). *Production of a food grade flour from defatted corn germ meal*. *Journal of Food Technology*. 33-38.
- Bazúa CD, & Guerra VR. (1980). *Los centros de investigación y educación superior y el desarrollo de agroindustrias*. 2, 43-46.
- Benz BF. (2001). *Archaeological evidence of teosinte domestication from Guilá Naquitz*. *Oaxaca*.
- Billeb de Sinibaldi AC, & Bressani R. (2001). *Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz*. 86-94.
- Bjarnason M, & Vasal SK. (1992). *Breeding of quality protein maize*. 181-216.
- Boyer CD, & Shannon JC. (2003). *Carbohydrates of the kernel*. En: White PJ y Jonson LA. *Chemistry and Technology*, 2, 537-569.

- Bradley, D. (1965). *The Hydrocyclone*. Pergamon Press: Londres. CRA. 1980. Métodos analíticos estándar. *Washington, DC*.
- De Blas, C, García-Rebollar, & Mateos, G.G. (2017). Avances en Nutrición y Alimentación Animal. *Madrid, 3*, 23-103.
- Diez Crespo, R. (2017). *Evaluación de la tecnología mecanizada para la extracción de almidón de Sagú en la finca integral " El Mingo "*.
- Franco, D. (2004). *Análisis de Cadena Alimentaria. Aceite de Maíz*.
- Giménez Georgina, M. (2010). *Evaluación de Producción Más Limpia al proceso productivo de molienda húmeda de maíz, lavado, deshidratación y secado de subproductos en la Empresa Glucosa Cienfuegos* [Carlos Rafael Rodríguez]. <http://www.monografias.com/trabajos35/molienda-maiz/molienda-maiz.shtml>
- Johnson, L. A. (2005). *Handbook of Cereal Science and Technology*. K. J.Lorenz and K. Kulp. *New York*.
- Kerr, r. W. (s. f.). *Chemistry and Industry of Starch*. Academic Press. *New York*.
- Knight, J. W. (2017). *The Starch Industry*. Pergamon Press. *England*.
- Krochta, J. M., Look, K. T, & Wong, L. G. (2017). *Modification of corn wet-milling steeping conditions to reduce energy consumption*. 39-47.
- Lasseran, J. C. (2019). *Incidences of drying and storing conditions of corn (maize) on its quality for starch industry*. 257-262.
- Lavarello P. (2003). *Estudios sobre el sector agroalimentario. Componente B: Redes Agroalimentarias. Tramas. B4 La trama de maíz en la Argentina*.
- Le bras, A. (2018). *Maize drying conditions and its resulting quality for wet-milling industry. Florida*, 95-127.
- Mayo, JB. (1987). *Molienda húmeda: Procesos y productos*. 377-397.
- Scott, W.O Aldrich, S.R. (s. f.). *Modern corn production*. 2daEdition. Champaign. *USA*, 2.
- Singh, N., & Eckhoff, S. R. (1995). *Hydrocyclone operation for starch-protein separation. Wet Milling Notes* (Vol. 12).

- Singh, N, & Eckhoff, S. R. (1995). *Hydrocyclone procedure for starch-protein separation in laboratory wet milling*. 344-348.
- Singh, S. K, & Eckhoff, S. R. (1996). *Effect of pump rate and table slope on starch recovery for a 100-g laboratory wet milling procedure*. 51-53.
- Steinke, JD, & Johnson, LA. (1991). *Remojar maíz en la presencia de múltiples enzimas. I. Remojo estático por lotes*. 7-12.
- Steinke, J. D, & Johnson, L. A. (1991). *Steeping maize in the presence of multiple enzymes. I. Static batchwise steeping*. 7-12.
- Suarez, D. (2005). *Guía de proceso para la extracción del almidón de maíz. 1*.
- Svarovsky, KY. (1984). *Almidón: Química y Tecnología*. RL Whistler, JN Be Miller y EF Paschall.
- Todoagro. (2009). *Subproductos de la industria de la molienda del maíz. Argentina*. <http://www.todoagro.com.ar/noticias/nota.asp>
- Weigel, J. C., Loy, K., L. (. (2015). *El uso de la harina de gluten de maíz. 3*.

Anexos

Anexo 2: Nivel de conocimiento de acuerdo a fuentes de argumentación.

Empresa Productora y Comercializadora de Glucosas, Almidón y derivados del Maíz GydeMa

Tecnología para la separación gluten almidón.

Fuentes de Argumentación	Grado de influencia de cada una de las fuentes en su conocimiento y criterio		
	Alto	Medio	Bajo
Análisis realizados por usted	0,3	0,2	0,1
Experiencia adquirida	0,5	0,4	0,2
Trabajos de autores nacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
Trabajos de autores internacionales que conoce	0,05	0,05	0,05
Conocimiento propio sobre el estado del tema	0,05	0,05	0,05

Anexo 3: Candidatos seleccionados para el desarrollo del estudio

Nombre y Apellidos	Cargo que ocupa	Entidad donde trabaja
Carlos R. Enrique Martínez	Director Técnico e Inversiones	GydeMa
Jorge Luis Fernández Bello	Director de Comercialización y Negocios	GydeMa
Adisleydis Suárez Delfino	Director I+D+i	GydeMa
Fernando Sarría Quesada	Especialista I+D+i	GydeMa
Yoelvis Rivero Prieto	Especialista Comercialización	GydeMa
Esmeralda Riquelme Garabito	Especialista I+D+i	GydeMa
Jaime García Zamora	Especialista en Mantenimiento (Presidente Consejo Técnico Asesor)	GydeMa
Laimí Pisch Vidal	Profesora carrera de IQ	UCF
Roxana Cortés Martínez	Profesora carrera IQ	UCF

Anexo 4: Coeficientes de competencia de los candidatos.

Empresa Productora y Comercializadora de Glucosas, Almidón y derivados del Maíz
GydeMa

Tecnología para la separación gluten almidón.

Candidatos	<i>K_c</i>	<i>K_a</i>	<i>K_{competencia}</i>
1	8,89	0,9	9,79
2	7,20	0,9	7,29
3	8,44	1	9,44
4	6,56	0,8	7,36
5	7,22	1	8,22
6	6,89	0,7	7,59
7	8,56	1	9,56
8	7,22	0,7	7,92
9	8,46	0,8	9,26
10	6,67	0,7	7,37
11	8,03	0,8	8,83
12	6,5	0,54	7,04
13	9,0	0,9	9,9
14	6,67	1	7,67
15	8,67	0,8	9,47
16	7,44	0,5	7,94
17	8,57	0,9	9,47

18	7,12	0,63	7,75
19	9,0	1	10,0
20	7,15	0,7	7,85
21	8,78	1	9,78
22	6,60	0,68	7,28
23	7,23	0,8	8,03
24	7,18	0,7	7,88
25	8,20	0,75	8,95
26	6,8	0,67	7,47

Anexo 5: Encuesta para la selección de la variante tecnológica para la separación gluten - almidón.

Nombre del Experto: _____

A continuación, se le muestran 4 propuestas para la selección de una tecnología para la recuperación del gluten en la etapa de refinación del almidón. Usted le dará un orden de prioridad del 1 al 10, teniendo en cuenta que 1 será la mayor evaluación y 10 la menor. Si usted lo considera puede darle la misma prioridad a más de una variante.

No.	Variantes	Orden de Prioridad
V1	Método de Presentación, Tabla o Plano Inclinado	
V2	Método de Centrifugación	
V3	Método de Hidrociclón	
V4	Método de Cribado o de Batería de Tamices	