

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Facultad de Química y Farmacia.

Departamento de Ingeniería Química.



Trabajo de Diploma

“Estudio de la producción de cerveza de sorgo y cebada, a escala de laboratorio, para la implementación de una Planta Piloto.”

Autora: Silvia Amparo Reyes Fuentes.

Tutoras: Dr. Irenia Gallardo Aguilar.

MSc. Leyanis Rodríguez Rodríguez.

Curso: 2012-2013.

“Año 54 de la Revolución”

Pensamiento.

Pensamiento

*En los momentos de crisis, solo la imaginación es más importante que el
conocimiento.*

Albert Einstein.

Dedicatoria

A mi Mamá, por su esfuerzo, comprensión, apoyo, amor, y tantas cosas que me brinda todos los días, porque sin ella no hubiera tenido fuerzas para continuar y vencer.

A mi Hermano...

A mi Papá, gracias por darme luz para que estudiara y fuera alguien en la vida.

Agradecimientos.

Agradecimientos

A mi tutora Irenia, por haber confiado en mi y que aunque se le revienten las venas de la incomodidad es una persona maravillosa. Gracias por tu entrega y compromiso con este trabajo.

A mi Mamá, gracias por existir y dejarme ser tu nené.

A mi familia, especialmente a mi hermano, mi papá, Dilian y a Tati, por confiar en que podía lograrlo y por esperar siempre lo mejor de mí.

A mis amistades, especialmente a Yarita y Beisy; por demostrarme que están tanto en las buenas como en las malas.

A Alba que siempre me ha dado su apoyo y su amor. Gracias.

A los profesores que me brindaron su apoyo desinteresado en todo momento y que me formaron como ingeniera durante la carrera.

A mis compañeros de aula, especialmente a Yamila, Carlos, Víctor, Lisbet, Franly, Norberto, Serguey, Darien, el loco Tonisbel y el gordo de Yuniesky, por estos cinco años de maravillosas fiestas.

A Margarita, A Eduardo y Anita por su ayuda en el laboratorio y en la elaboración de este trabajo.

A todas las amistades de mi mamá que siempre estuvieron al tanto de mí y me brindaron su apoyo.

A la Revolución Cubana por darme la oportunidad de estudiar y realizarme como profesional.

A los que estuvieron de mi parte, gracias por confiar en mí.

Resumen

Este trabajo estuvo dirigido a estudiar la producción de cerveza, utilizando una combinación de sorgo y cebada como materia prima, a escala de laboratorio; con el objetivo fundamental de sustituir parte de la cebada importada por malta de sorgo en la Cervecería de Manacas. En el mismo se realizó una revisión bibliográfica donde se destacaron las principales características del sorgo como cultivo granífero, así también como de la producción de cerveza a escala industrial; con el fin de encontrar cereales que sirvan como alternativa, pues el precio de la cebada en el mercado mundial se ha incrementado y en nuestro país es un producto de importación. También se tratan otros aspectos relacionados con el proceso de malteado del sorgo, pues constituye la etapa más importante en el desarrollo del proceso; para ello se desarrolló un diseño de experimentos para determinar la influencia de la humedad y la temperatura en la etapa de germinación. Por otra parte se realizó un estudio para determinar las mejores combinaciones de malta de cebada y malta de sorgo que nos permita obtener una cerveza clara comercial de calidad, el mismo se realizó utilizando las cartas tecnológicas utilizadas en la cervecería. La propuesta de Planta Piloto se estableció para una producción de 2.6 HL de cerveza diarios. En el dimensionamiento y selección del equipamiento se emplearon herramientas y metodologías de diseño estudiadas, determinándose los principales parámetros y características de cada uno de los equipos a instalar. Finalmente se realizó el estudio de factibilidad económica de la planta donde se obtuvo una baja tasa de recuperación de la inversión y un período de recuperación acorde al tipo de planta que se implementó, por lo que se efectuó un análisis de sensibilidad variando el precio del coproducto final que demostró que si aumentamos el precio disminuimos el tiempo de recuperación de la inversión. El análisis de alternativas para la sustitución de parte de la malta de cebada en la Cervecería de Manacas fue factible para ambas alternativas.

Abstract

This work was aimed to study the production of beer, using a combination of sorghum and barley as raw material, laboratory scale, with the ultimate goal of replacing part of barley malt imported by sorghum Manacas Brewery. In the same literature review was conducted which highlighted the main characteristics of sorghum and sorghum cultivation, as well as beer production on an industrial scale in order to find grains that serve as an alternative, since the price of barley in the world market has increased and our country is an import. Other aspects also related sorghum malting process, since it is the most important step in the development process, it was developed for a design of experiments to determine the influence of moisture and temperature at the stage of germination. Moreover, a study to determine the best combinations of malted barley and sorghum malt that allows us to get a clear beer commercial quality was conducted using the same technology used letters in the brewery. The proposed pilot plant was set for a production of 2.6 HL of beer daily. In the sizing and selection of equipment were used design tools and methodologies studied, determining the main parameters and characteristics of each of the equipment to be installed. Finally, the study was conducted economic feasibility of the plant which yielded a low rate of return on investment and payback period according to the type of plant to be implemented, so that was performed a sensitivity analysis by varying the price of the coproduct final showed that if we increase the price we decrease the recovery time of the investment. The analysis of alternatives for the replacement of part of the barley malt Manacas Brewery was feasible for both alternatives.

Índice

Introducción	1
Capítulo 1	3
1.1 Sorgo	4
1.1.2 Origen histórico del sorgo.....	4
1.1.3 Taxonomía y morfología del Sorgo.....	5
1.1.4 Ventajas del sorgo como cultivo.	8
1.1.5 Usos del Sorgo en la Conservación de los Suelos:	8
1.1.6 Ventajas del Sorgo en la Conservación de los Suelos.	9
1.1.7 Empleo del Sorgo en la Alimentación.....	9
1.1.8 Usos industriales del sorgo	11
1.1.9 Usos de la malta de sorgo	11
1.2 Cerveza generalidades	12
1.2.1 Ingredientes	13
1.2.2 Parámetros de calidad de la malta	14
1.3 Etapas en la elaboración de cerveza.....	15
1.3.1 Malteado del cereal	15
1.3.2 Proceso de elaboración de cerveza.	18
1.4 Elaboración casera.....	23
1.5 Tipos de cervezas	23
1.6 Propiedades finales de la Cerveza	25
1.6.1 Propiedades finales y nutrientes en la cerveza	25
Capítulo 2	

2.1 Etapas del Malteado del Cereal.....	27
2.2 Malteado del grano de sorgo.....	28
2.2.1 Clasificación del Grano	29
2.2.2 Remojo	29
2.2.3 Germinación.....	31
2.2.4 Secado	35
2.2.5 Tamizado y Pulido.....	39
2.2.6 Almacenamiento.....	40
2.2.7 Alternativa de Germinación	40
2.2.8 Análisis estadístico del Malteado del Grano	41
2.2.9 Malteo de Sorgo UDG-110 a escala de Planta Piloto.....	42
2.3 Técnica experimental para la obtención de la cerveza.....	43
2.3.1 Molida del Grano	43
2.3.2 Maceración o Mashing.....	43
2.3.3 Extracción del líquido y Lavado	44
2.3.4 Cocinado del Líquido	44
2.3.5 Pre fermentación	44
2.3.6 Fermentación.....	45
2.3.7 Filtración.....	45
2.3.8 Reposo y Clarificación	45
2.3.9 Filtración.....	45
2.4 Análisis y Diseño Experimental.....	45
2.5. Análisis estadístico de la Elaboración de Cervezas.....	50
2.6 Análisis Parcial de los Resultados.....	52
Capítulo 3	

3.1 Esquemas del Proceso.....	54
3.1.1 Esquema de Obtención de Cerveza.....	54
3.1.2 Función Total del Proceso.....	56
3.1.3 Funciones Parciales.....	56
3.2 Selección de los Equipos (Ulrich).	59
3.2.1 Transportadores.....	59
3.2.2 Molinos.....	60
3.2.3 Macerador y tanque de cocción con Calentamiento y Agitación.....	61
3.2.4 Agitadores.....	61
3.2.5 Filtros.....	62
3.2.6 Intercambiadores de calor.....	63
3.2.7 Bombas.....	65
3.2.8 Tanques de almacenamiento del producto final.....	66
3.3 Balances de Masa y Energía.	67
3.3.1 Balances de Materiales.....	68
3.3.2 Balances de Energía.....	70
3.4 Dimensionamiento de los Equipos del Proceso.	71
3.4.1 Tanques de mezclado con chaqueta y agitación.....	71
3.4.2 Filtro de marcos y placas.....	75
3.4.3 Intercambiador de calor.....	76
3.4.4 Fermentador.....	77
3.4.5. Recipientes de almacenamiento para el proceso.....	77
3.4.5 Generador de vapor y tratamiento de agua.....	79
3.4.6 Tuberías.....	79
3.4.6.1 Tubería de la alimentación de agua al macerador (T1).....	79

Índice.

3.4.6.2 Tubería de alimentación al tacho (T2).....	80
3.4.6.3 Tubería del mosto lupulado al tanque de Fermentación (T3)	80
3.4.6.4 Tubería de alimentación al intercambiador de calor para enfriar la mezcla (T4)	80
3.4.6.5 Tubería de la cerveza para el tanque de Maduración (T5)	81
3.4.7 Bombas	81
3.4.7.1 Bomba que impulsa el agua al tanque de agua para proceso (B1).....	81
3.4.7.2 Bomba que impulsa el mosto lupulado al intercambiador de calor (B2)	82
3.4.7.3 Bomba que impulsa el mosto lupulado enfriado al tanque de Fermentación (B3)...	83
3.4.7.4 Bomba que impulsa la cerveza al tanque de Maduración (B4).....	84
3.5 Análisis Económico	85
3.5.1 Costo de adquisición del equipamiento.....	85
3.5.2 Costo Total de Inversión (CTI)	86
3.5.3 Costo Total de Producción (CTP)	88
3.5.4 Cálculo de la Ganancia.....	90
Expresión de cálculo.....	90
3.5.5 Determinación de los Indicadores Dinámicos Económicos.....	90
3.5.6. Análisis de sensibilidad de la alternativa propuesta.....	91
3.5.7 Ahorro por concepto de Sustitución de Importaciones.	91
3.6 Análisis Parcial de los Resultados.....	93
Conclusiones	95
Recomendaciones.....	96
Bibliografía.....	97
Anexos.....	97

Introducción

El desarrollo sostenible es una de las grandes direcciones de acción en pos de alcanzar la seguridad nacional y mundial, por ende se emplea un conjunto de recursos naturales, materiales, financieros, científicos, entre otros, que permitan junto a un conjunto de medidas garantizar el desarrollo sostenible del país.

Los cereales son una de las fuentes de nutrientes más importantes de la humanidad, debido a que constituyen un producto básico en la alimentación; en la actualidad se enfrenta una delicada situación mundial con respecto a este tema, esto se debe al elevado costo de los cereales en el mercado internacional, por lo cual este trabajo se enmarca en ese contexto. La malta de cebada se ha empleado tradicionalmente en la obtención de bebidas, como cerveza, maltinas y en la obtención directamente de etanol, por su actividad diastática comparada con la de otros cereales, pero para muchos países como el nuestro es una materia prima de importación.

El sorgo, es un cereal que contiene propiedades beneficiosas y se ha demostrado que su cultivo es económicamente rentable, basado en su bajo costo de producción, dada sus características de rusticidad, resistencia a la sequía, etc. Debido a ello nuestro territorio se ha dado la tarea de estudiar, a pequeña escala, la obtención de cerveza utilizando como materia una combinación de malta de cebada con malta de sorgo, esto con el objetivo fundamental de sustituir importaciones.

Teniendo en cuenta estos aspectos es que se plantea el siguiente:

Problema Científico

Los costos de la cerveza en la región central aumentan su valor debido al precio de la cebada en el mercado mundial, por lo cual es necesario buscar alternativas para minimizar los mismos, empleando para ello otro tipo de cereal de menor costo.

Hipótesis

Es posible obtener una cerveza de menor costo si se emplea una combinación de malta de cebada y malta de sorgo para sustituir importaciones en la Región Central.

Objetivo General

Estudiar el malteado del cereal, particularizando en el remojo y la germinación; así también como obtener cerveza a nivel de laboratorio empleando combinaciones de malta de sorgo y malta de cebada, como posible alternativa para la sustitución de importaciones.

Objetivos Específicos

1. Estudiar las etapas del malteado del sorgo, para ser empleado como materia prima en la producción de cerveza a nivel de laboratorio.
2. Realizar un diseño de experimentos para analizar el comportamiento del sorgo en el malteado, particularizando en el remojo y la etapa de germinación.
3. Determinar las mejores proporciones de combinación de las materias primas para el proceso.
4. Dimensionar los equipos fundamentales del proceso, partiendo de la mejor variante obtenida a escala de laboratorio, para producciones de planta piloto.
5. Efectuar un análisis de factibilidad económica de la implementación de la planta a escala de planta piloto.
6. Realizar la sustitución parcial de la malta de cebada por malta de sorgo para la producción de la Cervecería de Manacas y determinar las ventajas económicas que traería.

Capítulo 1

1.1 Sorgo

Planta anual, originaria de la India, de la familia de las gramíneas, con cañas de dos a cuatro metros de altura, llenas de un tejido blanco, algo dulce y vellosas en los nudos; hojas lampiñas, ásperas en los bordes; flores en panoja floja, grande y derecha, o espesa, arracimada y colgante, y granos mayores que los cañamones, algo rojizos, blanquecinos o amarillos. Sirven estos para hacer pan y de alimento a las aves y toda la planta de pasto a las vacas y otros animales. El sorgo es una materia prima amilácea, la cual es empleada como forraje, y en algunos países africanos es muy utilizado para la producción de cervezas.

Es el único cereal en el que ciertas variedades son capaces de sintetizar cantidades relativamente altas de taninos condensados, que se localizan principalmente en el pericarpio; estas sustancias están compuestas por polímeros de unidades de catequina unidas por enlaces débiles C-C, y son capaces de unirse y precipitar proteínas en medio acuoso, las variedades ricas en taninos (de color pardo) son cultivadas en zonas áridas por sus ventajas agronómicas: resistencia a la sequía, pájaros, insectos e infección por hongos. Todas las variedades de sorgo contienen ácidos fenólicos, y la mayoría flavonas, pero sólo los sorgos "marrones" contienen taninos condensados. El principal efecto de los taninos sobre el valor nutritivo es que reducen la utilización digestiva de los aminoácidos y son parcialmente absorbidos en la pared intestinal. Las variedades de grano amarillo (sorgos blancos < 0,25% taninos) son las más utilizadas en la alimentación animal. <http://monografias.com>

1.1.2 Origen histórico del sorgo

Los primeros informes muestran que el sorgo existió en la India en el siglo I d. C. Esculturas que lo describen se hallaron en ruinas sirias de 700 años a. C. Sin embargo, el sorgo quizás sea originario de África Central -Etiopía o Sudán-, pues es allí donde se encuentra la mayor diversidad de tipos. Esta diversidad disminuye hacia el norte de África y Asia. Existen sin embargo, ciertas evidencias de que surgió en forma independiente tanto en África como en la India.

Los tipos salvajes encontrados en África Central y del Este no son aconsejables para usar en la agricultura actual, pero los fitogenetistas continúan buscándolos para crear nuevos germoplasmas, con el objetivo de incorporar características deseables dentro de las líneas genéticas actuales. <http://monografias.com>

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

El sorgo como cultivo doméstico llegó a Europa aproximadamente hacia el año 60 d. C. pero nunca se extendió mucho en este continente. No se sabe cuándo se introdujo la planta por primera vez en América. Las primeras semillas probablemente se llevaron al hemisferio Occidental en barcos de esclavos procedentes de África.

Los primeros sorgos dejaban mucho que desear como cultivo granífero. Eran muy altos y, por lo tanto, susceptibles al vuelco y difíciles de cosechar.

Además maduraban muy tardíamente. Los tipos Kafir y Milo fueron seleccionados como productores de granos por los primeros colonos en las grandes planicies debido a que su tolerancia a la sequía es mayor que la de maíz.

Con el advenimiento de las máquinas cosechadoras se hicieron selecciones a partir de los materiales originales, obteniendo tipos más precoces y algo más bajos. Sin embargo, fue la combinación de distintos tipos de sorgo, iniciada por John B. Seiglinger de Oklahoma, lo que hizo posible cultivarlos utilizando la cosecha mecanizada.

El desarrollo posterior de los tipos precoces, así como de variedades resistentes a enfermedades e insectos, junto con el mejoramiento de otras prácticas de producción, estableció firmemente el sorgo granífero como un importante cultivo.

Pero el proceso más trascendental, sin embargo, aún no había llegado. Como resultado de las investigaciones de Quinby y Stephens de Texas, los híbridos se hicieron realidad hacia 1950 y actualmente los rendimientos alcanzan a más de 13.440 kg/ha en los sorgos graníferos híbridos.

1.1.3 Taxonomía y morfología del Sorgo

Familia: Poaceae

Especies: Sorghum vulgare L. y Andropogum sorgum sudanensis.

Porte: la planta de sorgo tiene una altura de 1 a 2 m.

Sistema radicular: puede llegar en terrenos permeables a 2 m de profundidad. Tiene tres clases de raíces, laterales, adventicias y aéreas

Tallo: también llamado caña, es compacto, a veces esponjoso, con nudos engrosados. Puede originar macollos (unidad estructural de la mayoría de las especies de gramíneas. Se forman a partir de las yemas axilares o secundarias del meristemo basal del eje principal), de

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

maduración más tardía que el tallo principal. La presencia de macollos es varietal y está influenciada por la fertilidad, las condiciones hídricas y la densidad.

Hojas: se desarrollan entre 7 y 24 hojas dependiendo de la variedad, alternas, opuestas, de forma linear lanceolada, la nervadura media es blanquecina o amarilla en los sorgos de médula seca y verde en los de médula jugosa. Tiene lígula en la mayoría de los casos. El borde de las hojas presenta dientes curvos, filosos y numerosas células motoras ubicadas cerca de la nervadura central del haz facilitando el arrollamiento de la lámina durante periodos de sequía.

Inflorescencias: presenta inflorescencias en panojas compactas, semicompactas o semilaxas, con espiguillas que nacen a pares, una fértil y la otra estéril.

Semilla: esféricas y oblongas de 3 mm, de color negro, rojizo y amarillento.



Figura 1.1. Detalle de las inflorescencias del sorgo.



Figura 1.2. Semillas sorgo.

El grano de sorgo está compuesto por un 6, 84 y 10% de pericarpio, endospermo + aleurona y germen, respectivamente; más de la mitad del endospermo es de tipo córneo, que se caracteriza por un menor tamaño de los gránulos de almidón, y por estar éstos envueltos estrechamente por una matriz proteica de tipo continuo, compuesta de glutelina y prolamina altamente insolubles; como consecuencia el sorgo es el cereal más resistente a la fermentación microbiana. El contenido medio de almidón del grano de sorgo es de un 63,8%; en variedades comerciales la relación amilosa:amilopectina es de 20:80, en el caso de variedades de tipo céreo, la proporción de amilopectina alcanza el 100% estas últimas son más digestibles, como consecuencia de que las moléculas de amilopectina, más grandes y ramificadas, resultan más susceptibles a la ruptura de los enlaces entre las cadenas de glucosa cuando el grano se fractura. El sorgo contiene también pequeñas cantidades de monosacáridos libres (0,4%),

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

sacarosa (1%) y oligosacáridos (0,3%). La fracción fibrosa (10% FND) está muy poco lignificada (0,7% LAD) y está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosas y pentosanas. El sorgo tiene un apreciable nivel de grasa (3%), aunque inferior al del maíz. Su contenido en ácido linoleico es también inferior y carece de xantofilas.

La concentración de proteína es algo superior a la del maíz y también más variable. La proporción de albúminas, globulinas, prolamina (kafirina), y glutelinas es de un 5,7; 7,1; 52,7 y 34,4%, respectivamente. Las proteínas del endospermo (prolamina y glutelinas) son ricas en prolina, ácido glutámico y aspártico, y deficitarias en lisina y treonina. Existen variedades seleccionadas por su contenido en lisina (52% superior a la media), pero son poco productivas.

En la tabla 1.1 aparece la composición del sorgo en comparación la con la de algunos cereales tradicionales empleados en la alimentación humana y/o en la elaboración de bebidas, donde puede apreciarse su similitud con la cebada, que es el cereal más empleado en la elaboración de la cerveza. Como alimento el valor nutritivo del grano de sorgo es alto, el grano tiene más proteína que el maíz. El color de la semilla es variable con las clases amarillas, blancas, castañas, y mixtas en las normas de grano. Los tipos castaño son altos en contenido de taninos. Los porcentajes de los componentes de la semilla son: endospermo (82%), embrión (12%), y cubierta de la semilla (5-6%). (Carter, 2009, Saucedo, 2010)

Tabla 1.1 Composición de diferentes cereales

CEREALES	PROTEÍNAS	GRASAS	HIDRATOS DE CARBONO		CENIZAS
			TOTALES	FIBRA	
ARROZ	10,1	2,1	86,4	1	1,4
AVENA	22,4	9,8	64	3,9	3,8
CEBADA	10,1	1,1	87,6	0,8	1,2
CENTENO	13,6	1,9	82,5	2,2	2
MAIZ	10,3	4,5	83,8	2,3	1,4
MIJO	11,2	3,3	82,7	3,6	2,8
SORGO	12,3	3,7	82,1	1,9	1,9
TRIGO	13,4	2,4	82,3	2,4	1,9

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

Tachados están aquellos que no podemos usar, pero se toman como referencia para comparar sus contenidos en hidratos de carbonos, proteínas y grasas.

Otro aspecto a tener en cuenta es la capacidad de cada grano de ser malteado y el poder diastásico obtenido, de los cuales los que más satisfacen nuestros requerimientos son el sorgo y el maíz, también por su capacidad de dar color a la cerveza. Entre ellos es elegido el sorgo por tener menor contenido graso (fuente de enracimiento), forma de grano esférica que lo hace fácil de manipular en la molienda y tiene un precio razonable.

1.1.4 Ventajas del sorgo como cultivo.

- El sorgo tolera mejor la sequía y el exceso de humedad en el suelo que la mayoría de los cereales y crece bien bajo una amplia gama de condiciones en el suelo.
- Responde favorablemente a la irrigación, lográndose excelentes resultados bajo riego. Requiere un mínimo de 250 mm durante su ciclo para llegar a producir grano y pueden obtenerse buenos rendimientos con 350 mm, dependiendo del ciclo del híbrido elegido y las condiciones ambientales.
- El consumo de Nitrógeno del cultivo y la temporaria inmovilización del mismo provocada por el aporte de rastrojo, pierde toda importancia si en la rotación suceden al sorgo especies leguminosas como soja o maní. Si después de sorgo se siembran especies no leguminosas como trigo, maíz o girasol entre otras, deben ser adecuadamente fertilizadas.
- En la rotación conviene que el sorgo se ubique preferentemente después de especies leguminosas para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados. Por ello, posturas de alfalfa o cultivos como maní o soja son excelentes antecesores.

1.1.5 Usos del Sorgo en la Conservación de los Suelos:

El cultivo de sorgo ofrece mayores rendimientos en suelos profundos, sin exceso de sales, con buen drenaje, sin capas endurecidas, de buena fertilidad y de pH entre 6,2 y 7,8.



Figura 1.1 Ph de los suelos.

Sin embargo, el sorgo es moderadamente tolerante a suelos con alguna salinidad y/o alcalinidad, siendo su comportamiento, ante esas condiciones mejor que la de otros cultivos como maní, soja y maíz. Los principales beneficios de la inclusión del sorgo en las rotaciones de cultivos son resultantes de la alta cantidad de rastrojo que deja y su lenta descomposición (relación carbono/nitrógeno). Esto permite por un lado contribuir al contenido de materia orgánica del suelo y por otra, mediante labranza conservacionista, es decir manteniendo rastrojos en superficie, disminuir las pérdidas de agua del suelo por evaporación mejorando la infiltración del agua de lluvia, en algunos lugares se han registrado incrementos promedios del 20 al 30% en los rendimientos de soja cuando se hace rotación con sorgo, respecto al monocultivo de soja.

1.1.6 Ventajas del Sorgo en la Conservación de los Suelos.

- Aporte de Materia Orgánica.
- Eficiencia en el uso y conservación del agua.
- Aumento de Rendimientos.
- Mejora las condiciones físicas y químicas.
- Disminuye los riesgos de la erosión.
- Favorece a otros cultivos en las rotaciones. **(Sánchez, 2003)**

1.1.7 Empleo del Sorgo en la Alimentación

Como alimento el valor nutritivo del grano de sorgo es alto. El grano tiene más proteína y grasa que el maíz, pero es más bajo en vitamina A. El color de la semilla es variable con las clases amarillas, blancas, castañas, y mixtas en las normas de grano. Los tipos castaño son altos en contenido de taninos. Los porcentajes de los componentes de la semilla son: endospermo (82%), embrión (12%), y cubierta de la semilla (5-6%), **(P.Carter, 2009)**.

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

Aunque el sabor y el olor del sorgo son bastante diferentes a lo que el mundo occidental está acostumbrado, este cereal podría tener una ventaja económica industrial (es barato) por lo que incorporarlo a la alimentación humana y al procesamiento industrial es de interés mundial.

En general los procesos para el empleo del sorgo como alimento deben lograr en primer lugar eliminar o reducir los sabores y olores fuertes de este, ya existen producciones en baja proporción de algunos alimentos elaborados de estas formas como galletas, crackers, snacks, etc.

El sorgo se ubica en el tercer lugar en el mundo de los granos usados para la alimentación y aproximadamente el 75% del cultivo de sorgo en todo el mundo lo consumen las personas.

(Kramer, 1969)

La elaboración de cerveza representa un área de la industria de bebidas y alimentos en donde el sorgo podría tener una participación mas activa. De nuevo el problema aquí podría ser el sabor fuerte del sorgo. Las cervezas elaboradas con sorgo (en África es común) son más fuertes y más amargas debido a la alta concentración de antocianógenos que el sorgo le confieren al producto final. También son más oscuras. Algunas variedades de sorgo de color más ligero serian altamente deseables para producir buenas cervezas en el mundo occidental.

(Borneo, 2008)

Dentro de sus usos se puede destacar para los alimentos fortificados es decir para mejorar la calidad de proteínas de los alimentos a base de maíz, como alimentos para el desayuno, comidas de preparación rápida y harinas de sorgo ceroso como agente espesante en los alimentos enlatados. Su uso en el horneado es importante ya que hace 50 años se intentó reemplazar el 25% de la harina de trigo en el pan por la harina de sorgo granífero, donde ya se llevó a cabo las formas de usar la harina de sorgo para panadería y repostería.

En el procesamiento de la carne es otro de los tantos usos de la harina de sorgo granífero. Para alimento de mascota, jalea y dextrosa cristalina, elaboración de cerveza y fermentación, producción de alcohol, fabricación de papel y la malta de sorgo.

Existen además aplicaciones industriales no alimentarias para el sorgo. En la industria del aluminio el sorgo puede ser usado como agente floculante. En la producción de briquetas el sorgo puede ser usado como agente unificante. **(Kramer, 1969)**

1.1.8 Usos industriales del sorgo

El sorgo no solo se utiliza en la alimentación de los animales, sino también para fines industriales; en este aspecto tiene los mismos usos que el maíz. Se destaca en la producción de almidón, dextrosa, miel de dextrosa, aceites comestibles y bebidas; en la elaboración de cervezas, bebidas locales y materias colorantes, cosméticos, papel, productos farmacéuticos, confituras, mezcla en café y cárnicos, entre otras. Además las panículas se emplean para la confección de escobas o se queman para obtener cenizas ricas en potasio.

De los tallos de esta planta se pueden obtener otros productos, como jarabes y azúcares. La producción de etanol constituye una fuente alternativa para la obtención de energía a partir de este cultivo. La harina de sorgo es pobre en gluten, pero es más blanca y nutritiva que la del mijo; con ella se fabrican tortas y galletas, que sirven de base en la alimentación humana, ya sea sola o asociada al maíz o al mijo. En la India, China y algunas regiones de África, el sorgo constituye un elemento muy importante. El grano se come quebrándolo y cocinándolo en la misma forma que el arroz, o moliéndolo para obtener harina y elaborar pan sin levadura. **(Saucedo, 2008)**. Todas estas aplicaciones del sorgo en la alimentación humana tienen un papel fundamental como en el caso de la elaboración de cerveza, pues constituye un producto de producción nacional que puede ser utilizado en la sustitución de la cebada en la industria cervecera.

1.1.9 Usos de la malta de sorgo

La malta de Sorgo es un sustituto potencial de la malta de cebada especialmente en los países tropicales donde el clima no es propicio para el cultivo de cebada. En Nigeria, por ejemplo, los intentos de cultivar la cebada con riego no tuvieron éxito, por consiguiente, un interés creciente se ha demostrado en las cervecías por la malta de sorgo, con miras a producir cerveza de tipo lager. Aunque el sorgo ha sido utilizado durante siglos para cervezas caseras en África, diversos estudios han demostrado que el sorgo puede ser utilizado en la elaboración de la cerveza industrial moderna. La abundancia de grano de sorgo por su cosecha y su bajo precio, deben estimular al uso del mismo. En algunos países africanos, por ejemplo en Sudáfrica, donde el cultivo de la cebada es exitoso; por las ventajas que ha ofrecido el sorgo, se están utilizando en la producción de cerveza de sorgo tradicional. Los extensos estudios pioneros sobre el sorgo y los estudios de investigación de seguimiento dieron lugar a dos exitosas industrias cerveceras en el sur de África, uno con la cebada y otra con el sorgo. Aunque la malta de sorgo se utiliza ampliamente en el sur de África, el grano sin maltear se usa en Nigeria

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

para producir un tipo de cerveza Europea. **(Palmer, 1997)**. También en México, algunas fábricas de cerveza han utilizado cantidades apreciables de granos de sorgo a partir de 1968, para producir cervezas de tipo lager europea de alta calidad. Sin embargo, algunos de los inconvenientes principales asociados con el uso de malta de sorgo en la cerveza son los insuficientes - niveles de enzimas y la limitada degradación de la pared celular del endospermo. El desglose de la pared celular del almidón del endospermo es importante durante el malteado porque las reservas de alimentos de almidón y proteínas, delimitada por las paredes de las células, están expuestas a sus respectivos hidrolasas.

También en México, Serna y col han realizado estudios para producir cervezas para enfermos celíacos, empleando malta de sorgo y como adjuntos grits de sorgos cerosos, comparados con los de cebada, con resultados adecuados en cuanto a grado alcohólico. **(Serna, 2005)**. En la facultad de Química y Farmacia se han realizado una serie de investigaciones dirigidas por Gallardo, empleando sorgo y malta de sorgo para la obtención de etanol **(Rodríguez, 2005, Alemán, 2007, Rodríguez, 2010)**, los cuales aparecen resumidos en **(Colaboradores, 2011)**. También se han realizado trabajos en la obtención de maltinas para enfermos celíacos **(Ozuna, 2008, Boffill, 2009, Contino, 2012)** y un trabajo preliminar en la obtención de cerveza de sorgo **(Gómez, 2009)**. En todos estos trabajos se ha llevado a cabo el malteo del sorgo UDG-110 investigado como sorgo de doble propósito, en la Estación Experimental agrícola del CIAP UCLV, concluyéndose lo reportado para la cebada, que para el malteo del grano, éste debe tener una buena calidad, de reciente cosecha y condiciones favorables para su almacenamiento, pues los resultados reportados en las diferentes etapas de malteo, sobre todo en la germinación ha sido diferente para el mismo tipo de sorgo, preparadas las maltas en diferentes etapas.

1.2 Cerveza generalidades

Se denomina cerveza a la bebida alcohólica, no destilada, de sabor amargo que se fabrica con granos de cebada u otros cereales cuyo almidón, una vez modificado, es fermentado en agua y frecuentemente aromatizado con lúpulo. De ella se conocen múltiples variantes con una amplia gama de matices debidos a las diferentes formas de elaboración y a los ingredientes utilizados. Generalmente presenta un color ambarino con tonos que van del amarillo oro al negro pasando por los marrones rojizos. Contiene CO₂ disuelto en saturación que se manifiesta en forma de

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

burbujas a la presión ambiente) y suele estar coronada de una espuma más o menos persistente; su aspecto puede ser cristalino o turbio y puede alcanzar una graduación alcohólica hasta cerca de los 30% vol., aunque principalmente se encuentra entre los 3 y los 9% vol.

El proceso se divide a grandes rasgos en dos etapas principales: la primera corresponde a la conversión del almidón de un cereal a los azúcares (maltosa) y la segunda la fermentación de los azúcares para obtener la cerveza. Este método, aunque tiene como principal objetivo la producción de cerveza, es muy similar al empleado en la elaboración de bebidas tales como el sake, la hidromiel y el vino. La elaboración de la cerveza tiene una muy larga historia y las evidencias demuestran que ya era empleada por los antiguos egipcios. Algunas recetas para la elaboración de recetas antiguas de cerveza proceden de escritos sumerios. La industria de cerveza es parte de las actividades de la economía de occidente.
<http://es.wikipedia.org/wiki/Cerveza>.

1.2.1 Ingredientes

Los seis ingredientes básicos que por regla general intervienen en la elaboración de la cerveza son:

- **Malta:** constituye uno de los elementos iniciales en la elaboración de la cerveza, constituida principalmente por semillas de cebada aunque a veces se puede sustituir por otro cereal que ha germinado durante un período limitado, hasta que han brotado las raicillas de unos dos o tres centímetros y posteriormente desecados y retiradas las mismas. La cerveza se puede producir con cualquier cereal que se "maltea" (es decir cualquier semilla que posea almidón y sea susceptible de germinar); la cebada posee entre un 60%-65% de almidón.
- **Agua:** otro elemento principal, interviene no sólo en los momentos iniciales de mezclado con la malta, sino que en algunos de los filtrados posteriores, introduce un sabor característico (es famoso el dicho que dice que una pilsener de Dortmund sabe diferente de una de Múnich). Entre el 85 y 92% de la cerveza es agua.
- **Lúpulo:** El "humus lupulus es un ingrediente relativamente moderno en la cerveza, se trata de una planta trepadora de la familia del cannabis que es la encargada de proporcionar además de un sabor amargo característico, llega a estabilizar la espuma.

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

Los lúpulos son responsables de los aromas y los sabores florales de unos tipos de cerveza, especialmente las de los EE.UU. y de Inglaterra. De esta planta se utiliza la flor hembra sin fecundar. Este ingrediente posee muchas propiedades medicinales entre ellas las tranquilizantes. Otros de los fundamentos de la adición de la malta es el frenado de los procesos enzimáticos tras el primer filtrado.

- **Levadura:** se denomina así a los organismos unicelulares (de tamaño 5 a 10 micras) que transforman mediante fermentación los glúcidos y los aminoácidos de los cereales en alcohol etílico y dióxido de carbono (CO₂). Existen dos tipos de fermentación: la fermentación alta, que corresponden a las levaduras flotantes (*Saccharomyces cerevisiae*), que genera la cerveza Ale y la fermentación baja que corresponde a las levaduras que se van al fondo durante la fermentación (*saccharomyces carlsbergensis*), que sirve para la elaboración de la cerveza Lager. La fermentación alta resulta en sabores afrutados y otras características atípicas de las lagers, debido a la producción de esteres y otros subproductos de fermentación.
- **Grits:** son añadidos que hacen más estable la elaboración, generalmente otro tipo de cereales, tales como trigo, avena, maíz e incluso centeno. Además de la estabilización de espuma, estos cereales añaden distintos sabores a la cerveza y aumentan la percibida densidad de la bebida misma. Se conocen también como adjuntos cerveceros.
- **Azúcar:** A veces, el azúcar se añade durante la fase de ebullición para aumentar la cantidad de alcohol en el producto final o incluso para diluirlo. En Cuba se emplea mucho como adjunto.

1.2.2 Parámetros de calidad de la malta

El proceso de malteo trata fundamentalmente de solubilizar el almidón, proteínas, productos de degradación enzimáticos, vitaminas, minerales, componentes responsables del color y del aroma, y enzimas. En este sentido para Bellmer (1975) la calidad de la malta será adecuada si presenta:

- Bajo contenido en proteína.
- Buena modificación.
- Gran poder enzimático.
- Extracto alto
- Alto contenido en sustancias reductoras.

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

En efecto, el contenido en azúcares y la atenuación límite de un mosto son parámetros importantes de la calidad de la malta, aunque una alta atenuación límite no implica necesariamente que el almidón haya sido suficientemente modificado durante el malteo (Schur et al., 1978; Schur, 1979). También influyen en la fermentabilidad la variedad de cebada y las condiciones climáticas. **(Armitt, 1986)**

Es importante para la calidad de la malta que tenga una modificación buena y regular para que las barreras físicas estén rotas y pueda haber una adecuada movilidad y acción enzimática. En este sentido se ha puesto de manifiesto que al principio de la germinación la rápida desagregación de las paredes celulares, catalizada por las enzimas del escutelo, parece estar asociada a la mayor permeabilidad de esta región del grano. Además la matriz proteica de los granos pequeños de almidón permanecería intacta en su mayor parte, por lo que estos serían inalcanzables por las enzimas amilolíticas. De esta forma una buena modificación da lugar a endospermos amorfos, mientras que una mala modificación muestra endospermos vítreos. En efecto, los gránulos de almidón pequeños son menos atacados que los grandes. La razón no está en la estructura de la amilosa y la amilopectina, sino en la diferente proporción de proteína presente en la malta **(Haas, 1974)**. La matriz proteica estará más intacta conforme aumente el contenido proteínico de la malta, de tal manera que al formarse una película alrededor de los granulos de almidon se inhibe la amilolisis. **(Slack, 1979)**.

1.3 Etapas en la elaboración de cerveza

1.3.1 Malteado del cereal

La primera fase de la elaboración de la cerveza es la elaboración de la malta y suele hacerse en unas bodegas especiales. Esta fase es previa a cualquier otra en la elaboración de la cerveza y es considerada de vital importancia en su producción, para ello se puede emplear cualquier tipo de cereal, aunque en la actualidad está muy difundido en el mundo occidental el uso de la cebada, en la antigüedad por el contrario se empleaba trigo de espelta. El objetivo es obtener de una forma ingeniosa, al mismo tiempo, el almidón y los enzimas (la mayoría de tipo α -amilasa y β -amilasa) que permiten convertirlo en azúcares (maltosa). Para lograr esto se

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

hacen germinar los granos el "justo intervalo" en el que el brote comienza a consumir el almidón del grano, en este momento se interrumpe el proceso.

Cualquier grano puede ser malteado, pero cuando no se especifica otro origen, se asume que es de cebada. La malta se utiliza para producir cerveza, y para la obtención de otros derivados como jarabes de extracto de malta o extracto de malta seco; el extracto acuoso de la malta seca y molida, se filtra y se concentra a 70 – 80 % (o más) de sólidos; puede contener o no conservadores y se utiliza como aditivo y saborizante y especialmente, para la producción de cerveza en escala pequeña o doméstica. La cebada se hace germinar parcialmente, después se seca y, a veces, también se tuesta.

Es el principal ingrediente cuantitativo y funcional del mosto de la cerveza, ya que durante la germinación se produce una gran cantidad de enzimas activas, que transformarán los almidones en azúcares utilizables por la levadura en la fermentación posterior. Por ello, la determinación de la calidad maltera de la cebada reviste gran importancia, tanto para su comercialización, como en la selección de variedades de alta calidad, actividad en la que colaboran fitomejoradores y químicos para elegir las cepas más adecuadas. Durante la selección de variedades malteras, se estudian varias generaciones para seleccionar los atributos más adecuados y hacer el mejoramiento genético. Entre los atributos que se investigan para esta selección, están: peso de mil granos, descascare, índice de llenado, extracto en molienda gruesa y fina; proteína total, soluble y relación proteínica; capacidad de germinación, energía de germinación, micromalteo, alfa-amilasa, poder diastásico, recuperación maltera, tiempo de conversión y tiempo de filtración, así como micro-pruebas de elaboración de cerveza. Todas estas determinaciones reflejan el comportamiento que tendrá la malta en los procesos industriales de malteado y producción de cerveza.

Durante el malteo se presenta también una intensa actividad enzimática sobre la pared celular: las proteasas transforman proteínas insolubles en aminoácidos solubles y las β -glucanasas liberan glucosa; por ello el grano, que inicialmente es duro, se vuelve suave y harinoso.

Antes del malteado, se efectúan las siguientes operaciones:

- **Análisis físico del lote:** para determinar sanidad, humedad y calidad en general: tamaño de grano, grano quebrado y desnudo, peso hectolítrico, y harinosidad (granos

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

harinosos, semivítreos y vítreos).

- **Limpieza:** se eliminan impurezas por medio de cribas, imanes, corrientes de aire y/o bandas vibradoras, para eliminar impurezas metálicas barbilla, polvo, piedras, granos quebrados, etc.
- **Calibración:** separación del grano en grande, regular y delgado; éste última se elimina como subproducto, pues no es adecuado para malteado.
- **Almacenamiento:** la cebada se almacena, con una humedad de 13.5 % como máximo.

Las etapas para el malteado del cereal son:

- **Selección del grano:** este proceso es delicado ya que debe observarse con sumo cuidado que los granos tengan una textura homogénea, cualquier defecto afecta a la estabilidad del producto final.
- **Remojo del grano:** Para iniciar la germinación, la cebada requiere humedad de 40%, lo cual se logra en uno ó 2 días, según la temperatura del agua; generalmente se usa a 40 ó 45 °C. En la industria se alternan períodos con y sin agua, pero es indispensable airear para que el grano no se ahogue. El grano flotante se elimina. El remojo se detiene cuando el grano ha comenzado a puntear, es decir cuando las raicillas empiezan a aparecerse se pone a remojar el cereal en diferentes ciclos de remojo llegando a reblandecer e hinchar el grano por la absorción del agua. Durante el primer remojo se suele añadir algo de cal con el objetivo de desinfectar y limpiar el cereal.
- **Germinado:** Este debe ser rápido, vigoroso y uniforme. La humedad ambiental debe ser de 92% y es necesario mover el grano del fondo a la superficie de los contenedores, periódicamente para oxigenarlo; generalmente se usan volteadores, para ello. Si es necesario, se riega también. En esta etapa la humedad sube a 45% en unos 4 días. Por el extremo opuesto al de las raicillas, es decir por el lado dorsal, sale la plúmula en la germinación; cuando ésta ha alcanzado el largo del grano se ha obtenido la “malta verde”, la planta emite un enzima que convierte el almidón en azúcar para alimentarse, en este justo instante se interrumpe el germinado.
- **Secado del grano:** Para detener el crecimiento de la plántula y conservar la actividad enzimática, la germinación se interrumpe mediante el secado, en el cual se reduce la humedad del grano de 45 % hasta 4 ó 5 %, en unas 24 horas, mediante un proceso de 2 etapas, para evitar la inactivación de enzimas: la primera etapa se lleva a cabo a

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

temperaturas de 55 a 60 °C, hasta llegar a 12 % de humedad; en la segunda etapa, se utilizan temperaturas entre 65 y 75 °C para alcanzar 4 ó 5 % de humedad. El control de la temperatura es fundamental para conservar la actividad enzimática. Cuando la “malta verde” se seca se obtiene “malta pálida” Cuando la “malta verde” se tuesta se obtiene “malta caramelo” Cuando la “malta pálida” se tuesta se obtiene “malta negra” ó “malta oscura”. se seca el grano con el objeto de eliminar el germen, el intervalo de tiempo dedicado al secado puede variar dependiendo de la receta.

- **Operaciones finales:** Después del secado y/o tostado, se hace una limpieza para eliminar raicillas, plúmulas y fragmentos. Finalmente, la malta se somete a una maduración, que consiste en almacenarla a temperatura ambiente durante 4 a 6 semanas, para asegurar que no continúen las reacciones en el interior de grano, lo cual reduciría la calidad de la malta al utilizarla.

El malteado del cereal, afecta a muchas propiedades de la cerveza final, por ejemplo el color dependerá del tiempo que esté secándose la malta en la última fase del malteado, la cerveza saldrá más oscura si se ha tomado más tiempo en el secado de la misma. Cuando se hace la malta con el centeno, hay que prevenir la inclusión del hongo del cornezuelo ya que puede causar una enfermedad denominada ergotismo, este tóxico se desarrolla particularmente durante el proceso de malteado.

Los trabajos realizados por Gallardo y colaboradores, en la UCLV en la obtención de alcohol, maltina y cerveza a partir de sorgo, han empleado como vía enzimática la malta de sorgo UDG-110, estudiado y desarrollado por el CIAP, al cual se le han estudiado las diferentes etapas del malteado, comportándose de forma diferente a la cebada, fundamentalmente en la etapa de secado, cuyo tiempo de secado es muy inferior al de la malta de cebada, pero estos autores no han determinado algunas propiedades finales de la malta de este sorgo, que si fueron caracterizados por Pargas (**Pargas, 1986**) que estudió solamente el proceso de malteado sin su uso posterior, estos autores evaluaron los resultados de la malta obtenida a través de las propiedades de calidad de los productos obtenidos a partir de su uso. (**Ozuna, 2008, Boffill, 2009, Contino, 2012**).

1.3.2 Proceso de elaboración de cerveza.

La malta es la materia prima para la elaboración de cerveza. El cervecero elabora un extracto de malta que producirá los azúcares que la levadura habrá de convertir en alcohol. Se usa malta

pálida para cerveza clara y las otras maltas para las cervezas oscuras, aunque requieren “malta ayuda”, que es una malta de alto poder diastásico, porque los procesos térmicos más largos reducen el poder diastásico de las maltas oscuras. Cuando la malta se recibe en las cervecerías, se somete a análisis físicos y químicos; éstos últimos son: proteína total, obtención de extracto y determinación de pH, color, viscosidad y proteínas solubles, así como poder diastásico y alfa-amilasa. Actualmente se determinan también nitrosaminas—que son cancerígenas— en las maltas oscuras, ya que están reguladas en productos de exportación.

Es decir, todas las cervezas se elaboran mediante procesos descritos por una fórmula simple, la cual se divide en tres fases principales:

Obtención del mosto de la cerveza

Obtención de la cerveza

Envase y embotellado

En las primeras fases antes de comenzar el procedimiento de elaboración, se procede a recoger los ingredientes intervinientes para limpiarlos y esterilizarlos convenientemente, por ejemplo la malta suele entrar en la fábrica con tierra y pequeñas piedras, todo ello se pasa por diferentes tamices. El agua que interviene en el proceso tiene que ser normalizada para que sea acorde con las recetas cerveceras (cualquier presencia fuera del calcio, los sulfatos y los cloruros induce siempre a sospechas), y se limpia e higieniza por igual los grits.

La malta y los grits suelen molerse ("molturación de la malta") posteriormente para que se puedan pasar por los tamices y eliminar de esta forma todos los restos de cáscaras de los cereales molidos. Todos los ingredientes quedan finalmente en una textura harinosa.

1.3.2.1 Obtención del mosto de la cerveza

1. Maceración de la malta

Los ingredientes tamizados (malta y el grits) se introducen en unos grandes recipientes en los que se introduce agua y se remueve hasta que se forma una pasta consistente. La proporción entre la malta y el grit dependerá de la receta del maestro cervecer, pero generalmente suele ser aproximadamente de un 1/3 de malta. A la mezcla acuosa se la hace hervir durante unos

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

minutos para favorecer el ataque sobre el almidón de las enzimas.
es.wikipedia.org/wiki/Elaboraci3n_de_cerveza

En paralelo se está calentando una mezcla ligeramente acuosa de malta hasta aproximadamente 55° C, se detiene la temperatura para activar los enzimas y se sube hasta 90° C para ser mezcladas las dos en un solo recipiente. La mezcla anterior a una serie de operaciones destinadas a activar diversas enzimas que reducen las cadenas largas de azúcares en otras más simples y fermentables; la conversión de las sustancias amiláceas, hidrólisis, comprende tres etapas sucesivas: gelatinización, licuefacción y sacarificación. La primera consiste en un calentamiento progresivo de la suspensión de almidón para romper puentes de hidrógeno de las regiones cristalinas y conseguir un hinchamiento de los gránulos de almidón por absorción de agua, estado en el que se tornan susceptibles al ataque mecánico, químico y biológico. En la licuefacción se efectúa una hidrólisis parcial para disminuir el grado de polimerización y obtener equivalentes de dextrosa entre 10 y 12 unidades. Finalmente, en la sacarificación se completa la hidrólisis en aras de obtener un jarabe de glucosa. (González y Molina, 2006). La hidrólisis se puede realizar por medio de procesos ácidos (Sulfúrico y Clorhídrico) o preferentemente biológicos (Enzimas Amilolíticas). El proceso de desdoblamiento del almidón envuelve la hidrólisis o sacarificación de los puntos de unión (enlaces) de las moléculas de glucosa produciendo una mezcla de maltosa, más fácil de llevar los azúcares a su forma más simple para la fermentación como se aprecia en la figura 1.2, y dextrinas infermentables. **(Underkofler, 1954)**

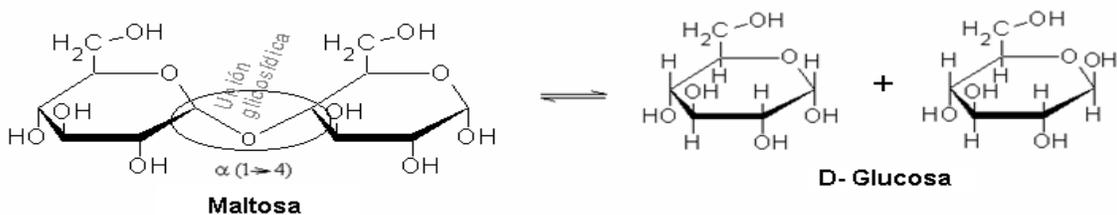


Figura 1.2 Estructura de la maltosa y su descomposición

Es decir, principalmente se trata de hacer pasar la mezcla por diversas etapas más o menos largas de temperatura, cada etapa es óptima para enzimas diferentes. De este proceso de maceración de la malta se obtiene, un líquido claro y azucarado que se denomina "mosto". El proceso completo dura unas horas.

2. Filtración previa

El mosto, que tiene muchas partículas en suspensión, debe ser filtrado convenientemente para que quede un mosto limpio libre de impurezas que molesten a la fermentación, es por esta razón por la que la malta remojada que existe al final del proceso anterior con forma de masa espesa sobrante (denominada "afrecho") se retira y se emplea como subproducto para la elaboración de alimento para los animales. Antiguamente se hacía con unas cubas especiales con perforaciones en el fondo que se denominaban: "cubas de filtración". A esta fase de la filtración se la suele denominar primera filtración, la segunda se hace tras la fermentación. El mosto filtrado y esterilizado no debe ponerse en contacto con el aire.

3. Cocción del mosto

Olla de cocción antigua en Holsten-Brauerei Hamburgo.

Tras el filtrado se introduce el mosto filtrado en una olla y se pone a hervir durante algún tiempo (puede durar casi una hora) con el objeto de esterilizarlo de bacterias que hayan podido aparecer durante los procesos anteriores, en este momento se añade el lúpulo con un doble objetivo: proporcionar un aroma característico y al mismo tiempo frenar los procesos enzimáticos anteriores. El tiempo de cocción tiene dependencias de la receta cervecera, pero suele durar algunas horas. Se suele acabar esta fase con una prueba de contenido de yodo.

1.3.2.2 Obtención de la cerveza

En las fases anteriores se ha procurado que el mosto convierta el almidón en azúcares y se ha aromatizado con lúpulo, ahora queda a disposición de la fermentación. El mosto dulce, de color azulado, pasa a cubas específicas para ser fermentado convenientemente, de este proceso se obtiene la cerveza y el CO₂.

1. Inyección de la levadura

Antes de entrar en las cubas de fermentación se enfría el mosto a una temperatura de 15 °C a 20 °C para que al inyectar la levadura (que son organismos vivos) tenga efecto. Llegados a este punto se introduce una mezcla de aire y de levadura para que comience la fermentación, ésta suele durar varios días (entre cinco y diez, dependiendo de receta). Este proceso de fermentación del mosto es exotérmico y libera grandes cantidades de calor que hacen que las

cubas deban ser refrigeradas constantemente para que sea posible la estabilización de la temperatura. La temperatura estabilizada dependerá en gran medida del tipo de fermentado y éste depende del empleo de levaduras de:

- **Alta fermentación (Saccharomyces cerevisiae)**, esta permanece en actividad por un intervalo de tiempo de 4 a 6 días a temperaturas relativamente altas entre los 18 y 25 °C.
- **Baja fermentación (Saccharomyces carlsbergensis)**, que se mantiene en actividad fermentativa durante un periodo de 8 a 10 días a temperaturas comprendidas entre 6 y 10 °C.
- **Fermentación espontánea**: que se trata de una fermentación que se realiza en algunas cervezas belgas elaboradas en las cercanías del río Senne, cerca de Bruselas, no se le añade levadura. La fermentación es como la del vino y suele durar años.

Tras el proceso de fermentación se reserva el CO₂ sobrante en recipientes especiales para la posterior carbonatación de la cerveza.

La fase de fermentado suele generar mucho calor y es muy común aprovechar el calor en lugar de dejarlo escapar, por esta razón se suele re-generar en una especie de condensador (en alemán: Pfaduko, de la abreviación Pfannendunstkondensator o condensador de vapor). No es nada más que un intercambiador de calor.

2. Fermentaciones secundarias

Esta fase es completamente opcional y depende de la receta de elaboración de la cerveza, en algunos casos se puede necesitar más fermentaciones tras la "fermentación primaria". Algunas cervezas pueden llegar a tener hasta tres fermentaciones, antes de ir a la etapa de reposo.

1.3.3.3 Envase y embotellado

Tras el envejecimiento, suele filtrarse el líquido y envasarse en unas cubas especiales que se envían a la planta de embotellado y enlatado. Durante esta fase son importantes dos parámetros: la hermeticidad (que no se introduzca aire) y el movimiento de los envases.

1.4 Elaboración casera

Precisamente en los años 1970, se puede decir que vuelve a aparecer la idea de producir cerveza casera. De hecho, el 80% de todas las cervezas históricas son caseras o artesanales. Las mujeres europeas fueron excelentes cerveceras, pero como hemos dicho, el consumo de cerveza hecha en casa desapareció. Y volvió a brotar por interés que tuvieron los elaboradores caseros estadounidenses para reproducir las cervezas tradicionales europeas. Hasta el punto que importantes elaboradores de talla mediana han apostado por producir cervezas históricas y para resucitar recetas perdidas. Las asociaciones de elaboradores y consumidores desarrollaron (o propiciaron) también la degustación y la apreciación científica o profesional de la cerveza. Esta corriente pasó de nuevo el Atlántico para llegar en los años 80 primero a Inglaterra y después al resto de países de Europa.

1.5 Tipos de cervezas

Existen cuatro tipos principales de cervezas o estilos de cervezas determinados en parte por el tipo de levadura usada durante su elaboración. www.cervezasdelmundo.com/

1. Cervezas Ale (fermentación alta)

Las cervezas de fermentación alta o de tipo Ale fermentan a temperaturas más altas, entre los 15 °C y los 20 °C, y ocasionalmente por encima de los 24 °C. Las cervezas de levadura pura ale se elaboran con la espuma de la parte superior de la cerveza, es por esta razón por la que se denominan como cervezas de fermentación alta de la levadura. Las cervezas de tipo Ale se pueden beber generalmente a las tres semanas tras el comienzo de la fermentación, sin embargo algunas variedades pueden ofrecer envejecimientos que van desde algunos meses hasta años. Pueden variar en color, desde ser muy pálidas hasta alcanzar colores negros opalescentes. Inglaterra es el mejor ejemplo de cerveza de tipo Ale.

2. Cervezas Lager (fermentación baja)

Aunque la naturaleza de las levaduras no fue perfectamente comprendida hasta que el investigador Emil Christian Hansen de la Carlsberg brewery en Dinamarca aisló una célula de levadura en el siglo XIX, los fabricantes de cerveza en Baviera tenían experiencia centenaria en el uso de levaduras de fermentación de baja temperatura mediante el uso de levaduras de tipo Lager, almacenándolas ("Lagern") en las cuevas alpinas. Este proceso de selección natural

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

permitía que las levaduras resultantes ("levaduras salvajes") pudieran permanecer activas mientras la cerveza era almacenada en cuevas. Las levaduras de tipo Lager tienden a ser recolectadas del fondo del cubo de fermentación y es esta la razón por la que se suelen denominar como cervezas de fermentación baja. Las cervezas Lager son fermentadas a muchas más bajas temperaturas, alrededor de 10 ° C, comparado con una fermentación normal a temperaturas de 18 ° C. Durante el proceso se almacena la cerveza durante treinta días en condiciones muy cercanas al punto de fusión. Durante el almacenaje o proceso de "Lagering" la cerveza recobra un aroma y sabor especial. Los componentes de azufre desarrollados durante el proceso de fermentación se disipan. La popularidad de la cerveza lager creció bastante cuando se desarrollaron de manera eficiente los sistemas de refrigeración a comienzos del siglo XX.

Hoy en día las lagers representan a una vasta mayoría de las cervezas producidas, una de las más famosas es la denominada Pilsener originaria de la ciudad de Pilsen, República Checa (Plzeň en checo). Es un error muy común creer que todas las Lagers son claras de color y esto no es cierto: las cervezas de tipo lager pueden variar desde las muy claras hasta las oscuras (al igual que las cervezas de tipo Ale).

3. Cervezas de fermentación espontánea (levaduras salvajes)

Estas cervezas se elaboraron por primera vez en Bruselas, Bélgica. Se fermentan mediante el uso de levaduras salvajes que habitan en parte del río Zenne, que cruza parte de la ciudad de Bruselas. Estas cervezas se denominan también cervezas Lambic. Con la llegada de los bancos de levadura y del NCYC, la elaboración de cervezas, aunque no con la fermentación espontánea, es posible en cualquier lugar.

4. Cervezas de origen mixto

Estas cervezas se elaboran con mezclas de cervezas de fermentación espontánea y cervezas de tipo Ale y Lager, todo ello se hace al arte de cada maestro cervecero.

En la figura 1.3 aparece un esquema del proceso de elaboración de los dos tipos fundamentales de cerveza, la Lager y la Ale. **(Filho, 2010)**

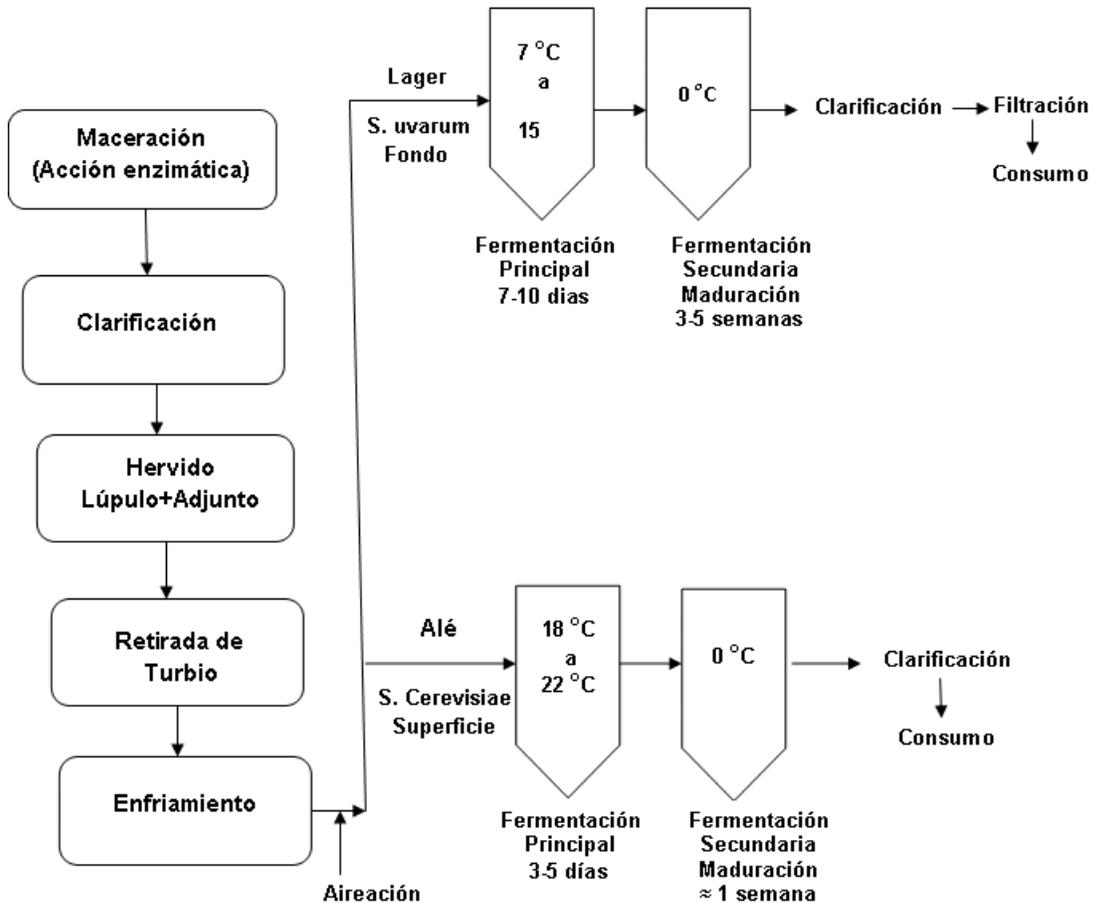


Figura 1.3 Esquema de Elaboración de Cerveza.

1.6 Propiedades finales de la Cerveza

Generalmente las cervezas presentan un color ambarino con tonos que van del amarillo oro al negro pasando los marrones rojizos. Se le considera "gaseosa" (contiene CO₂ disuelto en saturación que se manifiesta en forma de burbujas a la presión ambiente) y suele estar coronada de una espuma más o menos persistente. Su aspecto puede ser cristalino o turbio. Su graduación alcohólica puede alcanzar casi los 30% vol., aunque principalmente se encuentra entre los 3% vol. y 9% vol.

1.6.1 Propiedades finales y nutrientes en la cerveza

Desde siempre se ha valorado como un producto fuertemente energético. Esta característica está ligada a la proporción de alcohol. De hecho, con el 4% de alcohol, cada 500 ml aporta

Capítulo I: Revisión Bibliográfica.

unas 150 Kcal. Esta característica la ha relacionado con un aumento de peso si el consumo es elevado. Sin embargo, no se puede olvidar que la cerveza es un producto fermentado por la acción de levaduras, aspecto relacionado con las características organolépticas, la seguridad del producto y su valor nutritivo. Dada la actividad microbiana, la cerveza suele poseer una cierta cantidad de vitaminas hidrosolubles del complejo B, como tiamina, riboflavina, Ácido pantoténico, piridoxina, biotina, mesoinositol, cianocobalamina y niacina. También contiene Ácido fólico y sus derivados (folatos), que proceden de la malta, incrementándose en la germinación de la cebada y sobreviviendo al tostado; lo que la hace interesante desde un punto de vista complementario a la alimentación habitual.

El consumo de cerveza también aporta a la dieta polifenoles que, como antioxidantes naturales, participan en la protección contra enfermedades cardiovasculares y en la reducción de los fenómenos oxidativos, responsables del envejecimiento del organismo.

La fibra soluble contenida en la cerveza evita el estreñimiento y contribuye a la disminución de la hipercolesterolemia. La cerveza contiene aproximadamente 3,6 mg/100 ml de silicio biodisponible y otros minerales, también expresados en mg/100 ml como son magnesio (7-9), potasio (21-50), calcio (1-7) y Sodio (3-16), dependiendo del tipo de cerveza.

Otros compuestos que aparecen en las cervezas son los ácidos orgánicos como el málico, cítrico, láctico, oxálico, succínico, fumárico, glicólico, pirúvico, etc. que tienen importancia, si no cuantitativa sí para las características de sabor y estabilidad de la cerveza. (<http://www.nutricion.org/publicaciones>)

Capítulo 2

Capítulo II Análisis Experimental.

El objetivo de este capítulo es realizar un estudio experimental a escala de laboratorio, para evaluar parámetros que nos permitan mejorar la etapa de malteado, determinando cuál de ellos influye más en la calidad y eficiencia de la etapa. También es objetivo encontrar la mejor combinación de malta de cebada con malta de sorgo que nos permita obtener, a escala de laboratorio, una cerveza clara apta para el consumo y que compita con las cervezas claras producidas industrialmente.

Para ello es necesario llevar a cabo un estudio experimental, el cual tiene dos etapas fundamentales:

- Malteado del Grano (sorgo).
- Producción de Cerveza de Cebada y Sorgo.

2.1 Etapas del Malteado del Cereal.

El desarrollo experimental, como primer paso, tiene el malteado del sorgo, que constituye la etapa fundamental para el posterior desarrollo del proceso.

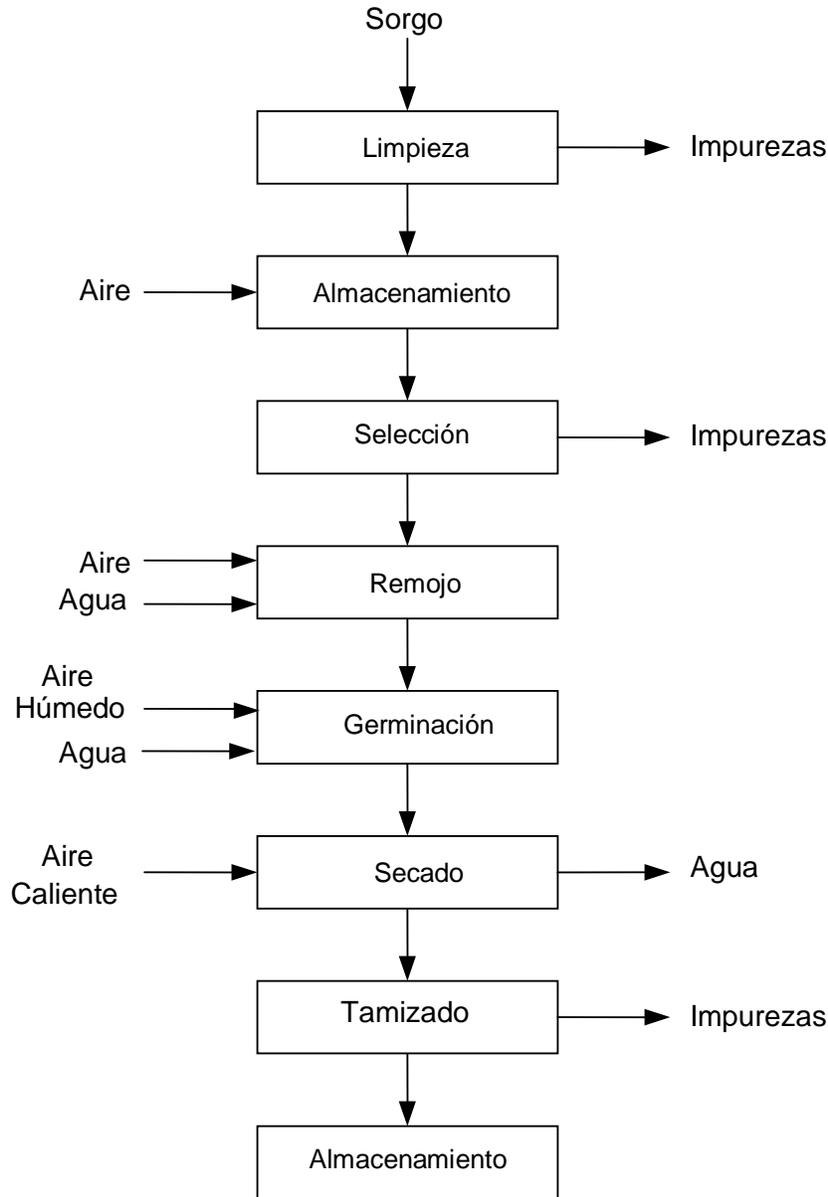


Figura 2.1. Diagrama de bloques del proceso experimental

2.2 Malteado del grano de sorgo.

El interés fundamental del malteado es obtener un grano que en más del 98 % de los granos se observe la emergencia de la vaina de la raíz, además se requiere, un contenido bajo en proteínas, entre el 9 % y el 11,5 %.

2.2.1 Clasificación del Grano

Esta etapa se realiza con el objetivo de realizar una limpieza y selección del grano. Primeramente se tamiza el sorgo para separarle el polvo, las impurezas y las partículas extrañas de mayor tamaño que puedan encontrarse en él.

En esta etapa se procesaron 1.5 Kg de materia prima (sorgo variedad UDG-110), terminada la operación se determinó el % de merma, obteniendo el siguiente resultado.

Muestra

Peso inicial = 1.5 Kg

Peso limpio = 1050 g

Peso sucio = 450 g

$$\% Merma = \frac{Peso_{Sucio}}{Peso_{inicial}} * 100$$

$$\% Merma = 30\%$$

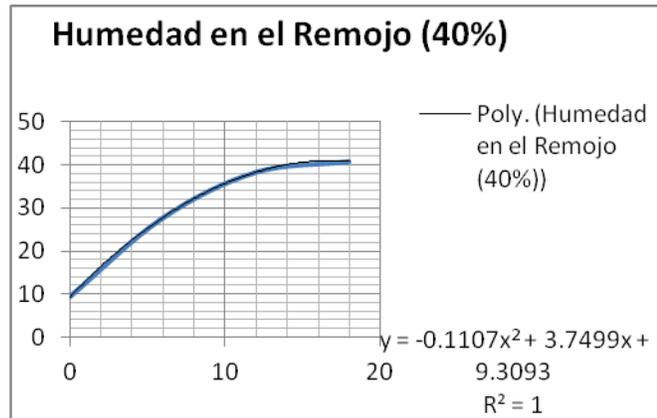
2.2.2 Remojo

En esta etapa se pesó 1 kilogramo de la muestra (sorgo variedad UDG-110), clasificada y limpia, luego se separó la muestra en dos partes iguales, posteriormente en un recipiente adecuado se añadió agua hasta cubrir los granos. El remojo se efectuó hasta que los granos alcanzaron 40 % y 50 % de humedad respectivamente, este proceso duró 18 horas, para los granos con 40 % de humedad y 42 horas, para los granos con un 50 % de humedad, que fue cuando se vio brotar la raicilla. Durante todo este tiempo se cambió y aireó el agua cada 6 horas, evitando así que ésta adquiriera olor desagradable, debido a la actividad de las bacterias que contiene el grano, además así se logran disolver sustancias que pueden ser perjudiciales para la etapa de germinación. Durante la etapa se determinó la humedad mediante desecación en una estufa a 100°C, obteniéndose los resultados mostrados en la tabla 2.2. 1. (1 y 2).

Tablas 2.2.1. Determinación de la humedad de la muestra 1 (40%) y la muestra 2 (50%), respectivamente.

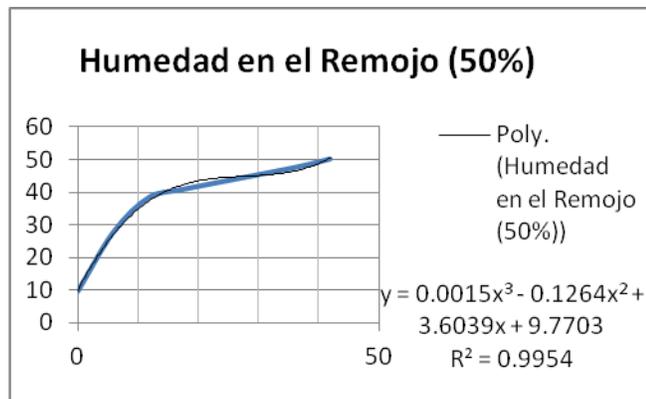
(1)

Tiempo(h)	Humedad %
0	9,3305
6	27,76
12	38,432
18	40,923



(2)

Tiempo(h)	Humedad %
0	9,3305
6	27,76
12	38,432
18	40,923
36	47,4
42	50,035



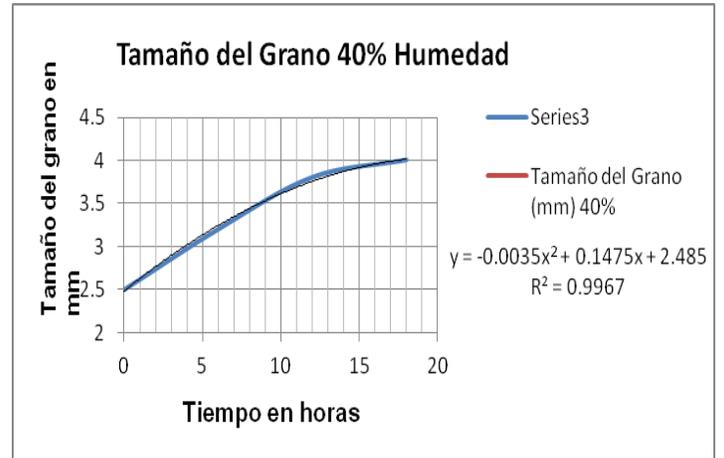
Se puede observar que a medida que transcurre el tiempo el grano crece, producto de la absorción del agua en el seno del mismo, lo cual provoca una hinchazón (elongación de la semilla), este comportamiento se pudo seguir tomando una muestra de granos cada 6 h y midiendo su diámetro, los resultados obtenidos para cada muestra se procesaron estadísticamente, los cuales se pueden observar en la tabla 2.2.2. (1 y 2).

Capítulo II Análisis Experimental.

Tabla 2.2.2 Crecimiento del grano en la etapa del remojo para las muestras 1 y 2.

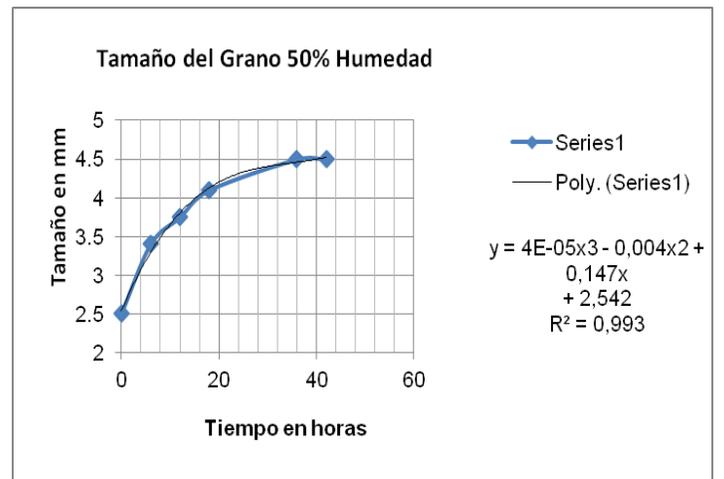
(1)

Tiempo (h)	Tamaño del grano (mm)
0	2,5
6	3,2
12	3,8
18	4,0



(2)

Tiempo (h)	Tamaño del grano (mm)
0	2,5
6	3,4
12	3,75
18	4,1
36	4,5
42	4,5



2.2.3 Germinación

Luego de que el sorgo alcanzó la humedad requerida en el remojo se colocó en una bandeja, cubierto por un paño húmedo y aireándose a una temperatura de 20°C y 30°C para ambas muestras, hasta que brotaron las raicillas o plumillas; en esta etapa se determinó el rendimiento de la germinación, para lo cual se tomaron 10 muestras de 10 granos, los resultados se muestran a continuación en las siguientes tablas 2.2.3 (1 y 2).

Capítulo II Análisis Experimental.

En el proceso de germinación, el grano produce alfa-amilasa, enzima que transforma el almidón insoluble en azúcares solubles, lo cual tiene el efecto de aclarar la pasta hecha, calentando una mezcla de almidón en agua; a su vez, esto permite una mayor densidad calorífica en una pasta de una determinada viscosidad.

Tabla 2.2.3 Rendimiento de la Germinación.

(1)

20°C		30°C	
Total granos	Germinados	Total granos	Germinados
10	2	10	6
10	3	10	1
10	6	10	9
10	5	10	3
10	8	10	4
10	4	10	2
10	1	10	8
10	2	10	2
10	6	10	1
10	2	10	9
% de germinación	39 %	% de germinación	40 %

Capítulo II Análisis Experimental.

(2)

20°C		30°C	
Total de granos	Germinados	Total de granos	Germinados
10	1	10	8
10	4	10	5
10	2	10	2
10	5	10	6
10	1	10	4
10	3	10	3
10	6	10	1
10	4	10	5
10	2	10	1
10	4	10	1
% de germinación	30	% de germinación	46

Como se aprecia en esta etapa el rendimiento de la germinación no es el deseado para ninguna de las muestras, esto viene dado por la mala calidad del grano, que viene dado por las condiciones de almacenamiento, calidad en la recolección, entre otros factores. La muestra 2 con una germinación a 30°C fue la que dio mejores resultados, pero a pesar de ello son deficientes los resultados si son comparados con los encontrados en la bibliografía. **(Aleman 2007 ; Boffill 2009)**

Se determinó el % de merma de la etapa, los resultados se exponen en la tabla 2.2.4.

Tabla 2.2.4 % Merma de la Germinación.

Muestras	40 % Humedad		50 % Humedad	
	20°C	30°C	20°C	30°C
Temperatura de Operación	20°C	30°C	20°C	30°C
Peso Muestra (g)	375	375	345	345
Peso Germinación (g)	323,784 g	336,276 g	276,039 g	262,421
% Merma/día	4,55	3,44	6,66	7,98

2.2.4 Secado

En esta etapa el principal objetivo es eliminar la humedad del grano, utilizando para ello una estufa de tiro de aire inducido. Teniendo en cuenta el tipo de malta que se desee obtener, malta caramelo o malta clara, será el procedimiento a utilizar.

Para el secado se colocó el sólido en una bandeja rectangular. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.2.5 y 2.2.6 y figura 2.5 y 2.6, para la muestra 1, y en la tabla 2.2.7 y 2.2.8 y figura 2.7 y 2.8 para la muestra 2.

Muestra 1

Tabla 2.2.5 Datos de la prueba de secado (20°C).

Tiempo	Humedad (%)	Humedad (base seca) Kg/Kg
0	35,87	0,5593

Capítulo II Análisis Experimental.

30	31,18	0,4532
60	28,65	0,4016
90	29,95	0,4275
120	19,09	0,2360
150	14,92	0,1753
180	15,75	0,1869
210	9,404	0,1038
240	6,976	0,075
270	0,612	0,0061

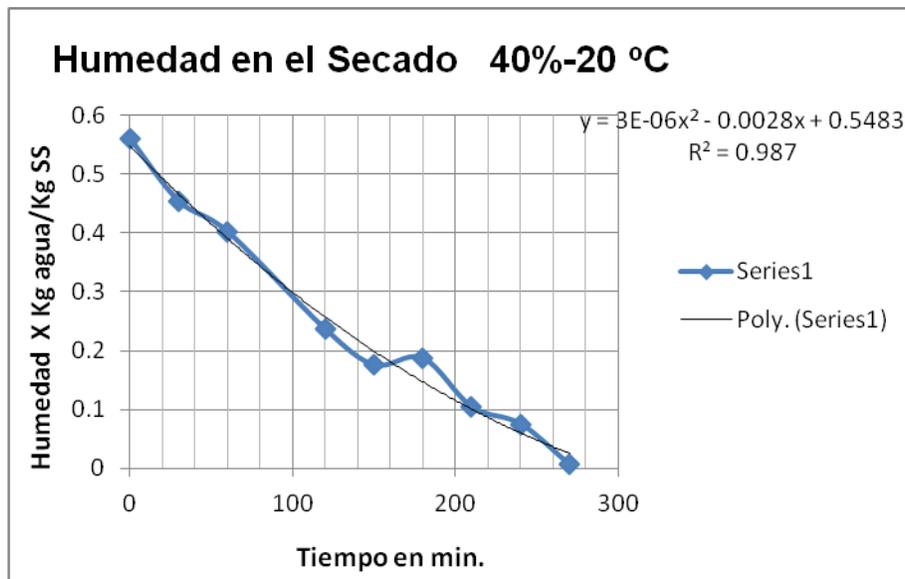


Figura 2.4 Prueba de secado experimental muestra 1 (20°C).

Tabla 2.2.6 Datos de la prueba de secado (30°C).

Tiempo	Humedad (%)	Humedad (base seca)Kg/Kg
0	28,65	0,3864

Capítulo II Análisis Experimental.

30	27,76	0,3842
60	24,64	0,3270
90	26,96	0,3690
120	12,56	0,1436
150	11,41	0,1288
180	9,121	0,1003
210	7,320	0,0789
240	0,10327	0,1151
270	0	0

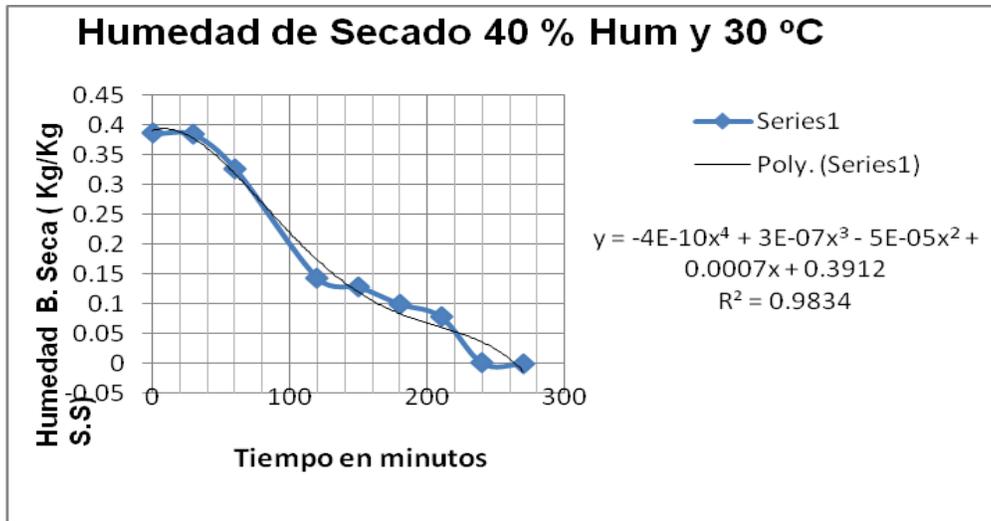


Figura 2.5 Prueba de secado experimental muestra 1 (30°C).

Muestra 2

Tabla 2.2.7 Datos de la prueba de secado (20°C).

Tiempo	Humedad (%)	Humedad (base seca)Kg/Kg
--------	-------------	--------------------------

Capítulo II Análisis Experimental.

0	24.8	0.3310
30	23.55	0.3081
60	16.42	0.1965
90	7.118	0.0766
120	7.568	0.0819
150	6.203	0.0661
180	5.102	0.0538

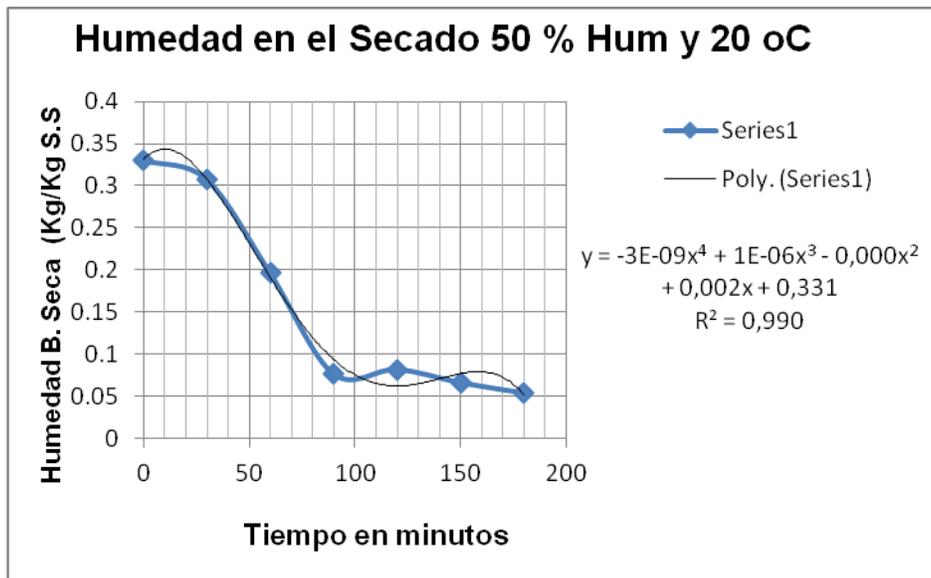


Figura 2.6 Prueba de secado experimental muestra 2 (20°C).

Tabla 2.2.8 Datos de la prueba de secado (30°C).

Tiempo	Humedad (%)	Humedad (base seca)Kg/Kg
0	25,87	0,3489

30	24,88	0,3311
60	17,49	0,2119
90	11,26	0,1269
120	11,87	0,1347
150	5,96	0,0634
180	5,11	0,0538

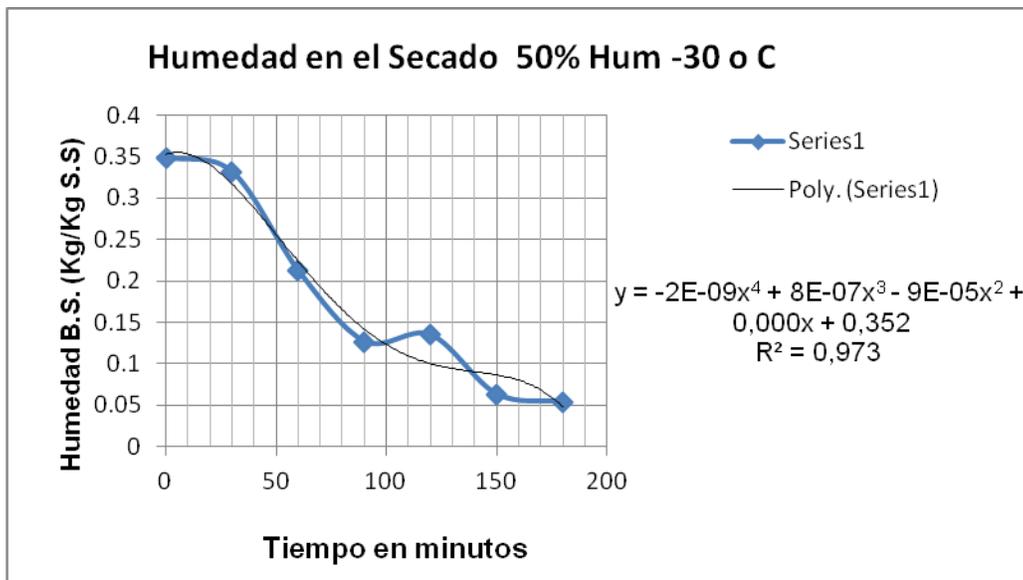


Figura 2.7 Prueba de secado experimental muestra 2 (30°C).

Como se evidencia las zonas que presentan las curvas de secado son la de reajuste térmico y la de régimen decreciente, lo que demuestra que la humedad que contiene la malta de sorgo es humedad ligada, lo cual es característico de los cereales.

2.2.5 Tamizado y Pulido

Por último se tiene que las raicillas de los brotes que se producen durante el malteado deben retirarse o de lo contrario perjudicarán la calidad del producto final. Debe hacerse lo antes posible en cuanto ha terminado el secado, debido a que las raicillas son fuertemente higroscópicas y a que es más fácil retirarlas cuando están secas.

2.2.6 Almacenamiento

Durante el almacenamiento de la malta su contenido de agua debe mantenerse por debajo del 5% o se deteriorará; por lo que hay que almacenarla en depósitos especiales las tres primeras semanas.

2.2.7 Alternativa de Germinación

Se desarrolló una alternativa en la etapa de germinación, esto se realizó teniendo en cuenta que según lo reportado en la bibliografía la utilización de extractos vegetales favorece la etapa, sin afectar las propiedades del cereal.

Para llevar a cabo la extracción de la planta se realizaron los siguientes pasos mostrados en la figura 2.4.

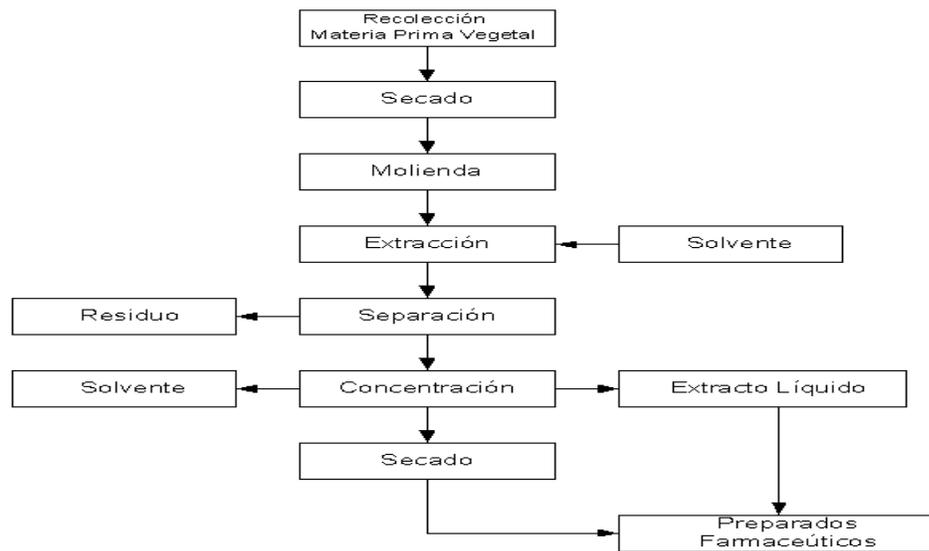


Figura 2.8. Proceso de obtención de extractos a partir de plantas medicinales

Para la realización del extracto se utilizó como materia prima vegetal el nitro blanco, el secado de la misma se realizó en una estufa a 40°C durante 3 días y se utilizó como solvente agua, para que no afectara la posterior utilización del grano.

Después de obtenidos los extractos se malteó el sorgo, remojando primeramente con agua y utilizando los extractos para remojar en la germinación; se obtuvo como resultado en esta etapa que la utilización de los mismos a pesar de no favorecer el rendimiento en cuanto a % de granos germinados en la etapa, ya que se alcanzaron valores de alrededor de un 40%, si

acelera el tiempo de germinación, pues las muestras germinaron a los 2 días, lo cual constituye un parámetro a tener en cuenta para la realización de próximos trabajos.

2.2.8 Análisis estadístico del Malteado del Grano

Se realizó un análisis estadístico en el programa Statgraphics Plus 4.1 de los resultados obtenidos en el malteado del grano, los parámetros evaluados fueron la longitud del grano en el remojo y el % de granos germinados; los resultados obtenidos se muestran a continuación.

De la figura 2.9 se puede deducir que el factor más significativo fue el A, humedad del grano, seguido de la relación entre la humedad del grano y la temperatura de germinación, este estudio demuestra que la temperatura a la cual se germine el grano no tiene influencia alguna en su crecimiento.

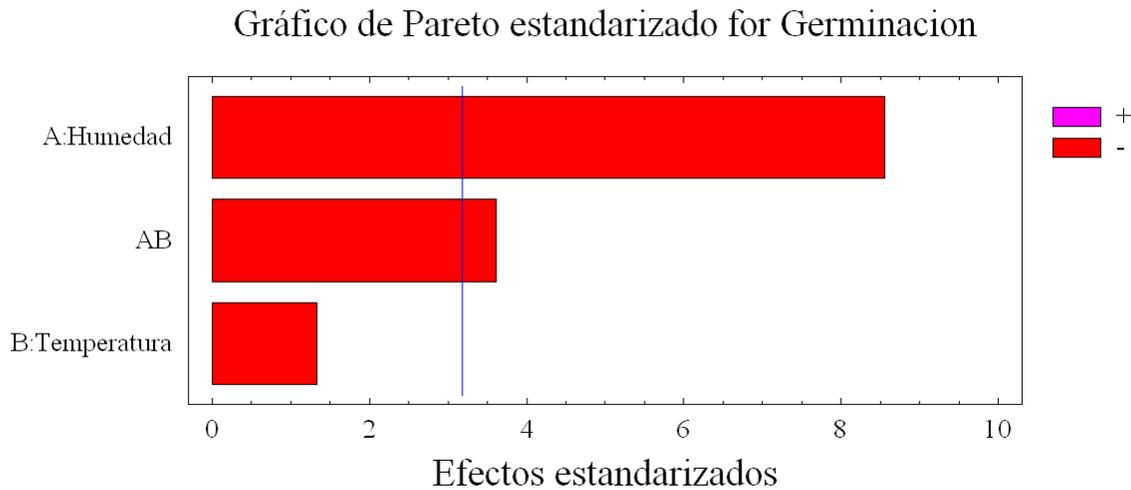


Figura 2.9 Gráfico de Pareto para el % de Germinación.

La ecuación del modelo ajustado como tendencia es:

$$\text{Germinación} = 35.375 - 5.625 * \text{Humedad} - 0.875 * \text{Temperatura} - .375 * \text{Humedad} * \text{Temperatura}$$

$$R^2 = 97.12 \%$$

Para el diseño que se está analizando se determinaron también los Efectos Principales para la variable respuesta y la Superficie de Respuesta, los gráficos correspondientes se muestran en las figuras 2.10 y 2.11.

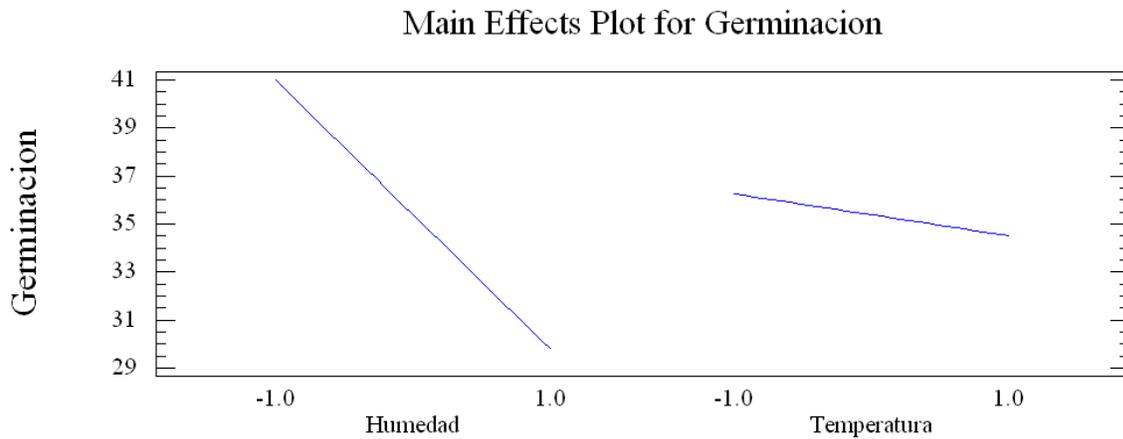


Figura 2.10 Gráfico de Efectos principales para % de Germinación.

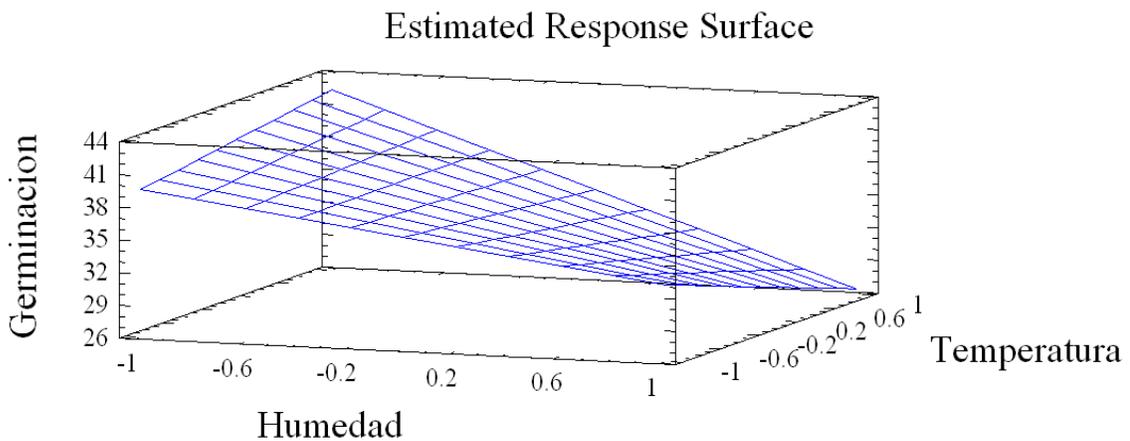


Figura 2.11 Gráfico de Superficie Respuesta para el % de Germinación.

2.2.9 Malteo de Sorgo UDG-110 a escala de Planta Piloto.

Como los resultados y calidad del grano de sorgo procesado no fue la adecuada se malteó otro grano de la misma variedad, UDG-110, pero con una calidad mayor; este proceso se llevó a cabo a escala de planta piloto, con el objetivo de utilizarlo como materia prima en la elaboración de maltinas y cervezas.

Para maltear el grano primeramente se pesaron 15 kilogramos de sorgo clasificado y limpio, colocándose en un tanque plástico y añadiéndosele agua hasta cubrir los granos, esta etapa duró 72 horas, alcanzándose una humedad de 46.83% mediante desecación en una estufa a 100°C. En esta etapa se midió el tamaño del grano y la elongación, este comportamiento se

Capítulo II Análisis Experimental.

pudo seguir midiendo su diámetro cada doce horas en una muestra de 10 granos de forma aleatoria, obteniéndose un promedio general del tamaño del grano 4,43 y una elongación de 0,01. Terminado el remojo se germinó el sorgo a una temperatura de 20°C, para ello se colocó en bandejas cubierto por un paño húmedo y aireándose el mismo; esta etapa tuvo un tiempo de germinación de 86 horas; en esta etapa se determinó el rendimiento de la germinación, para lo cual se tomaron 10 muestras de 100 granos cada una obteniéndose un 86,3% de granos germinados. Concluida la etapa de germinación se secó el grano, colocándose en una estufa de tiro de aire inducido a 60°C hasta que el grano alcanzó valores inferiores al 5%, en este caso fue de 3,6581%.

2.3 Técnica experimental para la obtención de la cerveza.

Es necesario destacar que la sacarificación se llevará a cabo con enzimas obtenidas del cereal (cebada y sorgo) en la maceración, en este caso no se utilizarán enzimas amilolíticas comerciales (amilasa), a pesar de que la malta de sorgo tiene baja actividad diastásica, pero si analizamos cuantitativamente la cebada está en mayor proporción, por lo que su uso posibilita que se obtenga un mayor rendimiento en el proceso.

2.3.1 Molido del Grano

En esta etapa se trituró el grano en un molino doméstico, poniendo pocas cantidades y convirtiéndolo en alrededor de un 60% sémola, 10 % paja y 30% harina.

2.3.2 Maceración o Mashing.

Luego se calentó agua en una cacerola de acero inoxidable, hasta alcanzar los 38 °C; en ese punto, se agregó el grano, revolviendo con un cucharón para evitar que se formaran grumos. Seguidamente se apagó el fuego y se esperó a que la temperatura se reduzca a 30 °C. A partir de aquí se midió el ° Brix en todas las etapas sucesivas hasta la Fermentación.

Después comienza un proceso de elevación y mantenimiento de la temperatura escalonadamente, colocando la muestra en un termostato para regular la temperatura. Durante media hora se mantiene la temperatura entre los 50 °C y 55 °C, revolviendo de vez en cuando para facilitar la disolución del almidón y azúcares en el agua, esta operación se realiza durante treinta minutos. Luego se eleva la temperatura al rango comprendido entre los 69 °C y 72 °C y se sigue cocinando durante treinta minutos. Durante este período, se continúa revolviendo espaciadamente. La última etapa del proceso, se realizará en el rango de temperatura de 78 °C, esta vez, durante el lapso de

Capítulo II Análisis Experimental.

diez minutos. Este proceso se realiza para lograr la sacarificación de los almidones, es decir la conversión de los almidones en azúcares fermentables.

2.3.3 Extracción del líquido y Lavado

En este punto comienza la separación del mosto que se convierte en cerveza, del afrecho.

Con un colador grande, se coloca toda la mezcla, guardando el líquido en un recipiente y el grano en otro. Cuando se ha colado todo, se vuelve el grano a la cacerola y se le agrega más agua caliente, esta vez a unos 78° y se revuelve para que se siga disolviendo el azúcar. Luego de unos minutos se repite el paso anterior, colado del grano.

Se repite este paso tantas veces como haga falta, hasta obtener la cantidad de líquido deseada.

2.3.4 Cocinado del Líquido

Luego, se limpia el recipiente y se coloca en ella todo el líquido. Éste deberá hervir durante una hora, en esta etapa se le agregará 1.5 g/l de lúpulo, esta operación se realiza cuando comienza a hervir el líquido, donde se le adiciona el lúpulo amargo, cuando rompe a hervir el líquido y 45 minutos más tarde se le adiciona el lúpulo aromático.

2.3.5 Pre fermentación

La etapa de pre fermentación es fundamental para el desarrollo del proceso, pues en ella se prepara el mosto para la posterior fermentación.

Se adicionan de los nutrientes, en este paso se estabilizó el pH en un rango de 4.8-5.2 que es en el que trabaja la levadura *Sacharomyces cereviseae*, con fosfato de amonio, solución a 1%, el cual es el rango óptimo para la levadura, se utiliza lúpulo para darle sabor al producto, inoculando una proporción de 1.5 g/L de levadura.

Posteriormente la muestra se introduce en un frasco (fermentador) este es conectado a una bomba peristáltica, donde se airea para que el microorganismo tenga una reserva de oxígeno que le permita desarrollarse y crecer, esto se realiza porque no hay una etapa de pre fermentación, esta operación se realiza durante 10 minutos.

2.3.6 Fermentación

La muestra se pone a fermentar durante un espacio de tiempo relativo, en la bibliografía se reportan 160 horas, siete días, para cervezas elaboradas de forma similar pero con enzimas sacarificantes. En este caso las muestras fermentaron hasta los siete días. La fermentación se realiza a temperaturas comprendidas entre los 10°C y 15°C.

2.3.7 Filtración

Se realiza una filtración para lograr separar la levadura del mosto.

2.3.8 Reposo y Clarificación

El objetivo de la operación es lograr eliminar por precipitación las proteínas coagulables en frío, las levaduras que puedan estar presentes en la cerveza y las sustancias con olores y sabores desagradables, así también como lograr la formación de ésteres que aromaticen la cerveza.

En esta etapa se mantiene la temperatura en un intervalo comprendido entre 0°C y 4°C.

Esta etapa se llevó a cabo durante un tiempo de siete días, para la mayoría de las muestras, este paso es fundamental en el desarrollo del proceso pues en esta etapa la cerveza adquiere cuerpo.

2.3.9 Filtración

Esta etapa se realiza para obtener una cerveza brillante y libre de sólidos en suspensión, a una temperatura que permita su saturación con CO₂. Se le añade tierra infusoria a la cerveza y se procede a filtrar. Terminada la operación se enfría la cerveza a temperaturas entre los 0°C y 2.5°C.

2.4 Análisis y Diseño Experimental.

El análisis experimental se llevó a cabo tomando como referencia las Cartas Tecnológicas de la Cervecería Manacas. Se empleó un diseño factorial 2^{K-1} con cuatro experimentos. Se tomó la mayor cantidad de malta relación 133 g/L, pero variando la cantidad de adjunto y la cantidad de malta en proporciones de malta de cebada y malta de sorgo. Se realizó un experimento central y un experimento con malta de cebada como patrón, según la carta tecnológica para la relación 70/30 (ver Anexo 7y8).

Capítulo II Análisis Experimental.

Las variables que se utilizaron fueron tres, y se muestran los niveles que involucran a cada una de ellas.

Variables	Nivel Superior	Nivel inferior	Patrón
Rel M. Sorgo/Malta Total (X1) %	20	5	----
Rel. Adjunto/ Sólidos Totales (X2) %	50	30	30
Temperatura de Sacarificación (X3) °C	71	80	71

Las cantidades para cada experimento se dan en la tabla 2.4.1 de acuerdo a los niveles de cada variable.

Tabla 2.4.1 Variables seleccionadas y sus cantidades.

	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp Central	Exp Patrón
Rel M. Sorgo/Malta Total (X1) %	5	20	5	20	12,5	
Rel. Adjunto/ Malta Total (X2) %	30	30	50	50	40	30
Temperatura de Sacarificación (X3) °C	68	80	80	68	74	68

El control de la etapa de maceración se refleja en la tabla 2.4.2

Tabla 2.4.2. Control del Brix en la maceración.

Tiempo (min)	Temp (°C)	°Bx					
		Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp Central	Exp Patrón
30	38	8,5	9	4,5	4,8	4,9	6,8
30	51	10,2	9,7	8	9,5	9	9
45	63	15	17,4	---	---	16,8	22,1
30	68	16,9	19,4	18,4	19	17,5	27,1

Capítulo II Análisis Experimental.

30	80	--	23,1	22,6	---	24,2	27,8
Prueba de Sararificación		si	si	no	si	si	si

También se realizó el control de ph en la fermentación, ajustándolos en el rango comprendido en lo reportado en la literatura para estos sustratos entre 4,5-5.

El brix de las muestras fue ajustado atendiendo a los valores de la Cervecería y completando los volúmenes iniciales, los resultados del comportamiento del Brix en la etapa de Fermentación aparecen reflejados en la tabla 2.4.3.

Tabla 2.4.3. Control del Brix en la etapa fermentación.

°Bx						
	Exp 1	Exp 2	Exp 3	Exp 4	Exp Central	Exp Patrón
Antes de Fermentar	16,1	16,8	16,5	15,5	14	15,5
Después de Fermentar	11,1	16,5	9,9	16,5	14,2	9,5

Como parámetro respuesta del proceso se determinaron a las cervezas los minerales, acidez, brix, densidad y el grado alcohólico, este último se realizó mediante el método picnométrico; para ello se determinó la gravedad específica (S), por la ecuación mostrada a continuación. (ver Anexo 5).

$$S=0.99913*(C-A)/(B-A)$$

Donde:

S - gravedad relativa

A – peso del picnómetro vacío

B – peso del picnómetro con el agua destilada y hervida

C – peso del picnómetro con el destilado

Capítulo II Análisis Experimental.

Los resultados aparecen reportados en las tablas 2.4.5., 2.4.6.

Tabla 2.4.5 Parámetros físicos de calidad medidos a las cervezas.

Experimentos	°GL	°Bx	ρ_{exp} (kg/m ³)	Acidez %
1 (- - -)	1,16	11,1	997,78	1,401
2 (+ - +)	0,66	16,5	998,48	1,294
3 (- + +)	1,17	9,9	997,68	1,293
4 (+ + -)	0,68	16,5	998,24	1,293
Central	0,69	14,2	998,12	1,904
Patrón	1,51	9,5	997,20	1.292

Tabla 2.4.6 Contenido de minerales medidos a las cervezas.

Experimentos	Minerales					
	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	K
1	1,415	2,439	0,0083	0,0037	0,00232	34,76
2	1,355	2,408	0,0123	0,0119	0,00272	28,60
3	1,492	2,434	0,0126	0,0023	0,00457	30,55
4	1,551	2,453	0,013	0,0014	0,00458	30,69
Central	1,926	2,557	0,0121	0,0036	0,00514	44,25

Capítulo II Análisis Experimental.

Patrón	1,443	2,368	0,0094	0,0096	0,00438	29,09
---------------	-------	-------	--------	--------	---------	-------

Como puede apreciarse en la etapa de maceración se logró la conversión de los almidones con las enzimas de la malta para todos los experimentos, manifestados estos en la variación del brix desde el comienzo hasta el final de la etapa; aunque el brix para este tipo de material no es sinónimo de azúcar pues pueden existir almidones no convertidos en esta etapa. También el almidón además de estar compuesto fundamentalmente de glucosa, puede contener una serie de constituyentes que, aunque en cantidades mínimas son oligoconstituyentes del almidón o contaminantes no eliminados completamente en el proceso de extracción que pueden afectar. Por lo que se llevó a cabo la prueba de sacarificación con solución de yodo, donde solamente el experimento 3 no cumplió con el color especificado para esta prueba, aunque alcanzó un brix de 22,6.

En los experimentos realizados con sorgo malteado tanto para alcohol como para cerveza se ha trabajado en la fermentación con levadura en polvo y se han obtenido resultados adecuados de grados alcohólicos, en cerveza alrededor de 3 °GL con los tenores mayores de sorgo. Sin embargo en estos experimentos, se trabajó con una levadura de baja, que trabaja en frío y se utilizaron cantidades similares a las empleadas con el otro tipo de levadura 1,5 g/L, lo cual indica que esta relación no fue la correcta por los valores del Brix final de la fermentación y el grado alcohólico obtenido. Como puede apreciarse en la tabla 2.4.5 el grado alcohólico para todos los experimentos fueron bajos, incluyendo el de la cerveza tomada como patrón, siendo este de 1,51 °GL, trabajándose con las relaciones de la Cervecería de Manacas, Malta/Adjunto de 70/30 y lo único común al resto de los experimentos fue la levadura y la metodología seguida. Sin embargo en las muestras conteniendo 5% de malta de sorgo de la malta total, dieron resultados de grado alcohólico de un 75% de la patrón y para las de 20% de malta de sorgo fueron apenas de un 40%. Si se hiciera una mera relación matemática para una cerveza patrón de 5 °GL, se hubieran obtenido valores adecuados, para las muestras combinadas de malta de sorgo y cebada.

2.5. Análisis estadístico de la Elaboración de Cervezas

Se realizó un análisis del diseño de los experimentos en el programa Statgraphics Plus 4.1 con las tres variables independientes sobre la variable respuesta grado alcohólico, el mismo mostró el diagrama de pareto figura 2.12.

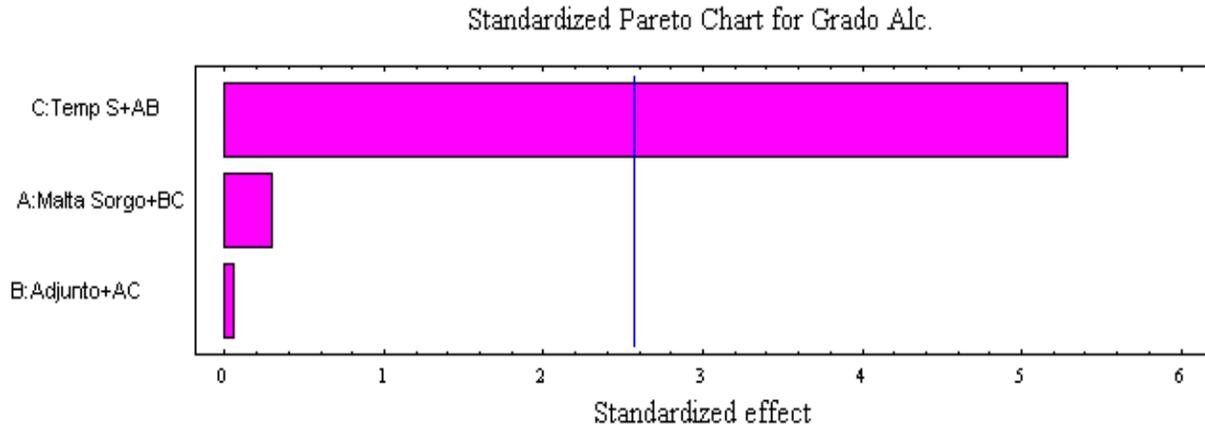


Fig. 2.12 Diagrama de Pareto para los tres factores

$R^2 = 94,0414\%$

Es necesario destacar que en los resultados del programa para este caso no dio ningún análisis de otro tipo, solo el Diagrama de Pareto y el valor del coeficiente de Regresión Lineal, pues alegaba que había un efecto confundido; para decidir la simplificación del modelo, hay que tener en cuenta que el valor- p más alto en las variables independientes es 0,9625, ver Anexo 11, perteneciendo al Factor C. Puesto que el valor-p es superior o igual a 0.10, este término no es estadísticamente significativo para un nivel de confianza del 90% o superior. Por lo que se sugiere eliminar el Factor C del modelo.

Si se realiza el mismo análisis para dos variables, eliminando el Factor C, temperatura de Sacarificación, se obtienen resultados similares al modelo anterior, los cuales se muestran a continuación:

Las variables analizadas fueron la Relación de malta de Sorgo/Malta (Factor A) y la Relación Adjunto/Malta Total (Factor B), en este caso en particular el Diagrama de Pareto figura 2.13 muestra que el factor que más influye en el sistema es el Factor A, seguido del B, la acción del Factor A es significativa en el mismo; además se observa que el adjunto (B) no afecta

prácticamente el resultado del proceso. En esto puede estar influyendo la poca cantidad de experimentos realizados y la poca variación en los niveles seleccionados para las variables.

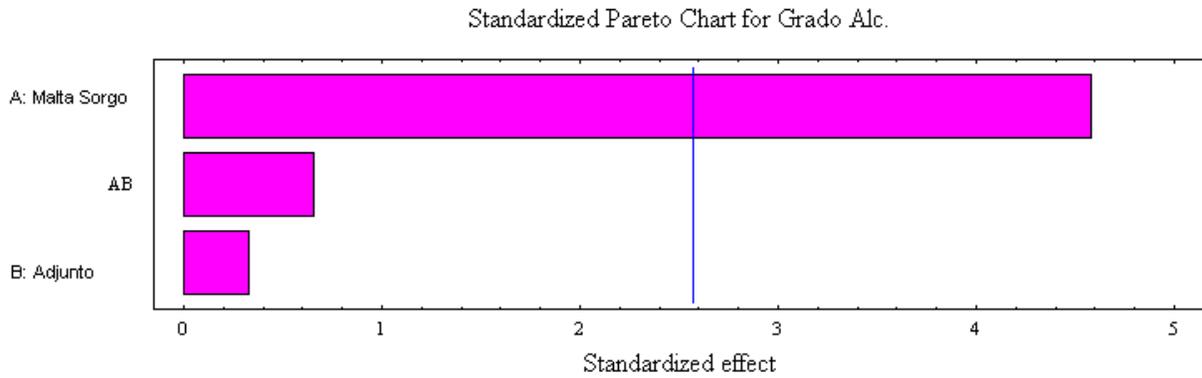


Figura 2.13 Diagrama de Pareto para los dos factores.

El modelo de correlación obtenido para un $R^2 = 81.154\%$ en este análisis fue

$$\text{Grado Alc.} = 0.724 - 0.185 \cdot \text{Malta Sorgo} - 0.0125 \cdot \text{Adjunto} - 0.0325 \cdot \text{Malta Sorgo} \cdot \text{Adjunto}$$

Obteniéndose ahora que no existe efecto confundido entre las variables, a pesar de ello el programa examina los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa basada en el orden en el que se han introducido los datos en el fichero; dado que el p-valor, ver Anexo 16, es superior a 0.05, no hay indicio de auto correlación serial en los residuos y además para simplificar el modelo hay que tener en cuenta que el p-valor más alto en las variables independientes es 0,757, perteneciendo al Factor A.

Para el diseño que se está analizando se determinaron también los Efectos Principales para la variable respuesta y la Superficie de Respuesta, los gráficos correspondientes se muestran en las figuras 2.14 y 2.15.

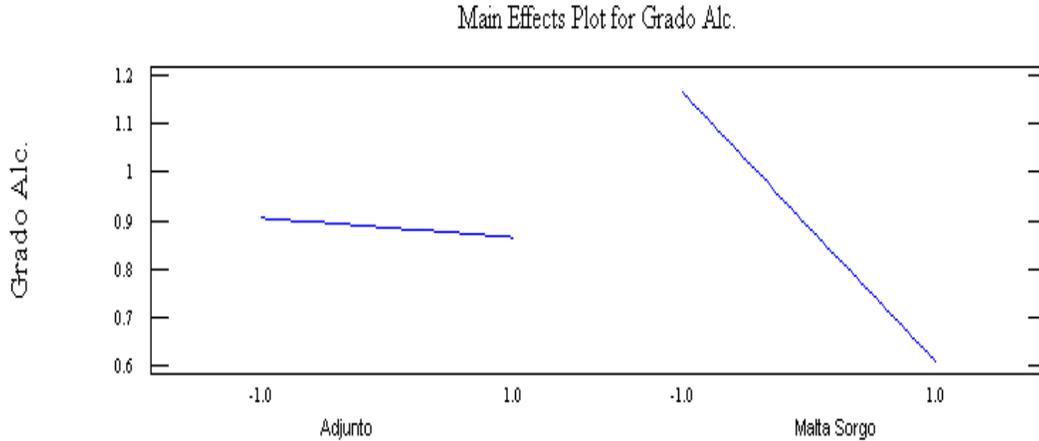


Figura 2.14 Gráfico de Efectos principales para el Grado Alcohólico.

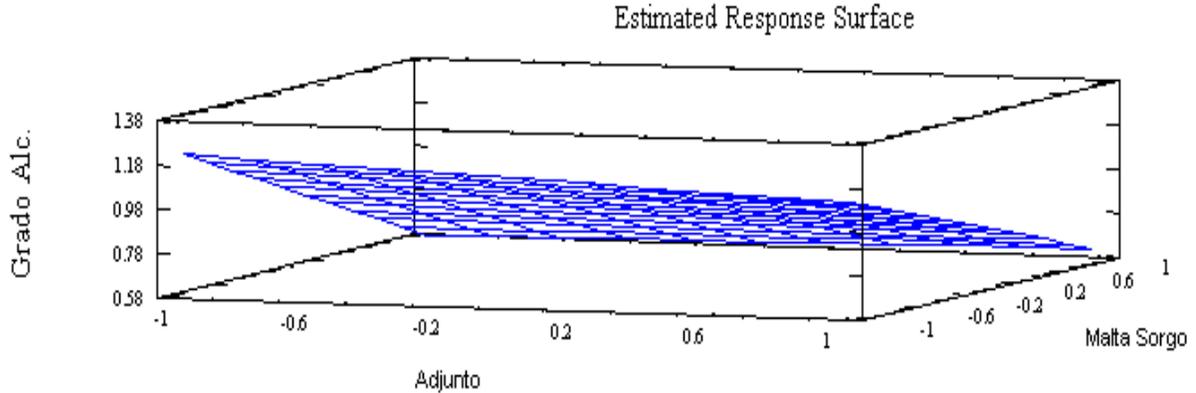


Figura 2.15 Gráfico de Superficie Respuesta para el grado Alcohólico.

Como puede apreciarse la sustitución de malta de cebada por malta de sorgo es la variable más influyente y a medida que la relación aumenta disminuye el grado alcohólico, no apreciándose efecto de la cantidad de adjunto, correspondiéndose con el análisis estadístico

2.6 Análisis Parcial de los Resultados.

Como resultado del estudio realizado se pueden citar varios aspectos:

Primeramente en la operación de malteado del grano de sorgo, en la etapa de selección del grano se obtuvieron pérdidas de alrededor del 30 %, esta situación desfavorable viene dada a partir de que la calidad del grano producido no es la más adecuada. En el remojo se analizaron dos muestras, la muestra uno se remojó hasta que el grano alcanzó una humedad de alrededor del 40 % p/p, con un tiempo de remojo de 18 horas; la muestra dos se remojó hasta que el

Capítulo II Análisis Experimental.

grano alcanzó un 50%p/p, con 42 horas de remojo, en ambos casos la humedad alcanzada supera en menor tiempo el valor descrito en la literatura para malta de cebada. En la etapa de germinación para las variables estudiadas los valores alcanzados fueron bajos para todas las muestras, pues deben alcanzarse valores superiores al 85 %; esta situación está dada como se dijo anteriormente por la mala calidad de la materia prima, las condiciones de almacenamiento, pues **(Palmer, 1997)** estudió para el sorgo temperaturas de 20 y 30 °C en la germinación, llegando a resultados satisfactorios. El secado se realizó a 60 °C alcanzándose humedades inferiores al 5 % establecidas para la malta clara, con un tiempo de duración de 5 horas similares a trabajos anteriores para este tipo de sorgo. Las curvas de secado muestran que prácticamente todo el secado pertenece a la zona del régimen decreciente, es decir a la humedad ligada para ambas muestras, lo que caracteriza a los cereales.

La alternativa preliminar de emplear el extracto de nitro blanco en la etapa de germinación mejora el tiempo de germinación, no así el % de granos germinados. Este resultado afianza lo planteado en cuanto a la calidad de la materia prima.

En el malteado a escala de planta piloto se pudo corroborar que los resultados obtenidos para la malta de sorgo difieren en algunos parámetros como tiempo de remojo, tiempo de germinación y de secado que los reportados en la literatura para la cebada.

La calidad de las cervezas obtenidas aunque en su principal parámetro, grado alcohólico, es baja; el resto de los parámetros físico-químicos como son contenido de minerales, acidez, densidad, brillantez, olor y color están en el rango reportado en la bibliografía.

Para lograr un mejor producto final es necesario esterilizar mas el mosto, con el objetivo que no se contamine con otros microorganismos en la manipulación y seguir el curso de la fermentación mediante la medición de los ART y no el Brix.

En el procesamiento del diseño estadístico, empleando un diseño factorial completo 2^{k-1} que se ha realizado en los experimentos con cerveza, donde se han analizado las mismas variables pero en diferentes niveles, se presenta un efecto confundido entre las tres variables independientes; por lo que se orienta eliminar una de las variables, dando resultados satisfactorios cuando se realiza el análisis para dos variables, esto puede estar dado por el reducido numero de experimentos sin replicas o que no sea el mejor diseño a procesar para este tipo de proceso.

Capítulo 3

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

El objetivo de este capítulo es plantear el diseño de una planta para la producción de cerveza, elaborada a partir de malta de sorgo y malta de cebada, mediante la hidrólisis enzimática del grano y tratamientos de cocción para la conversión de los almidones en azúcares fermentables, el cual es capaz de fermentar con levaduras tradicionales, para la producción de etanol. Se seleccionó una capacidad de producción de cerveza de 1 HL/día, por lo que aplicando balances de energía y materiales podremos cuantificar las corrientes del proceso.

3.1 Esquemas del Proceso.

El proceso consta de las siguientes etapas:

3.1.1 Esquema de Obtención de Cerveza.

En la Figura 3.1 aparece el diagrama de bloques del proceso completo de obtención de cerveza.

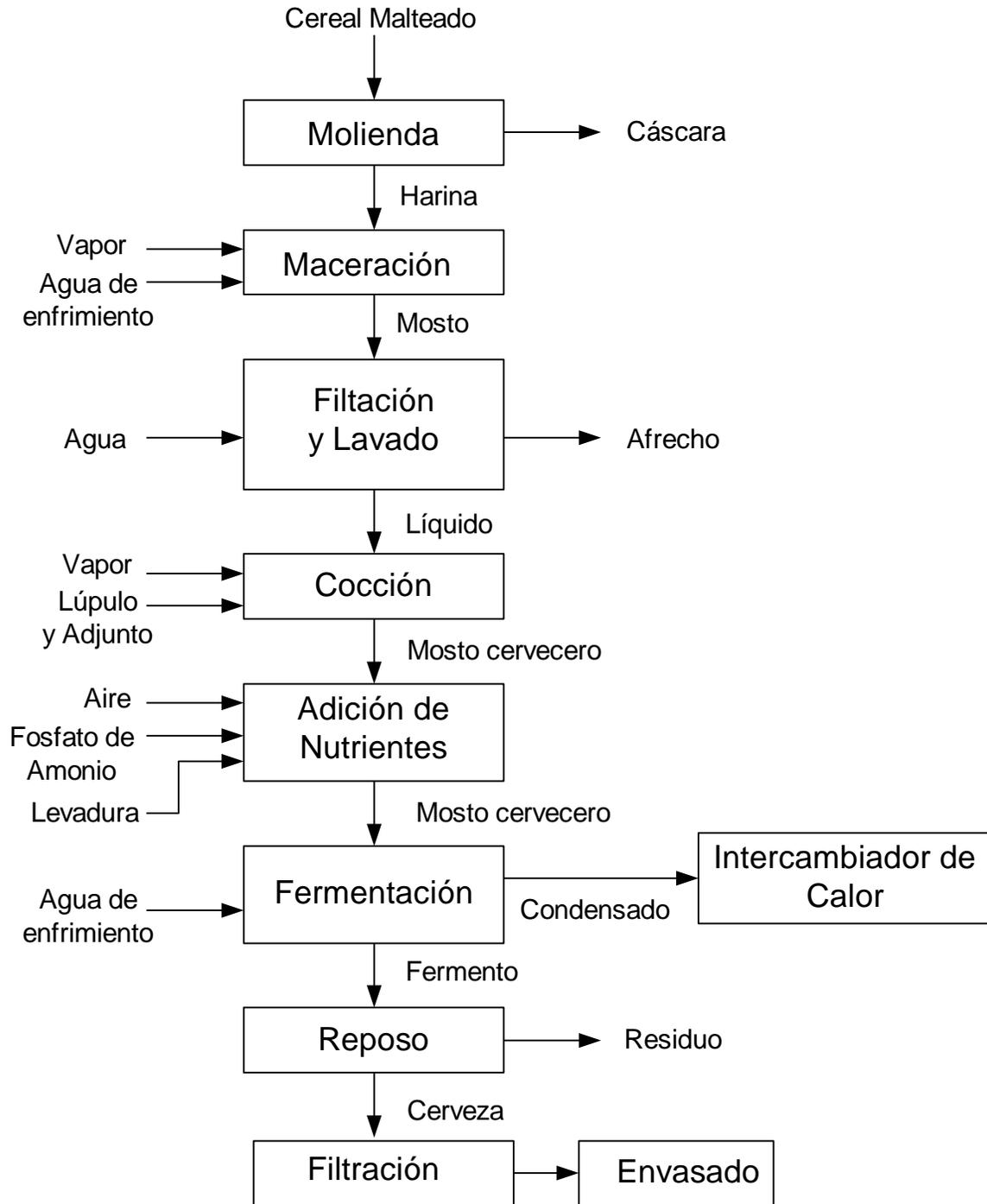


Figura 3.1 Esquema del Proceso de Obtención de Cerveza.

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

3.1.2 Función Total del Proceso.

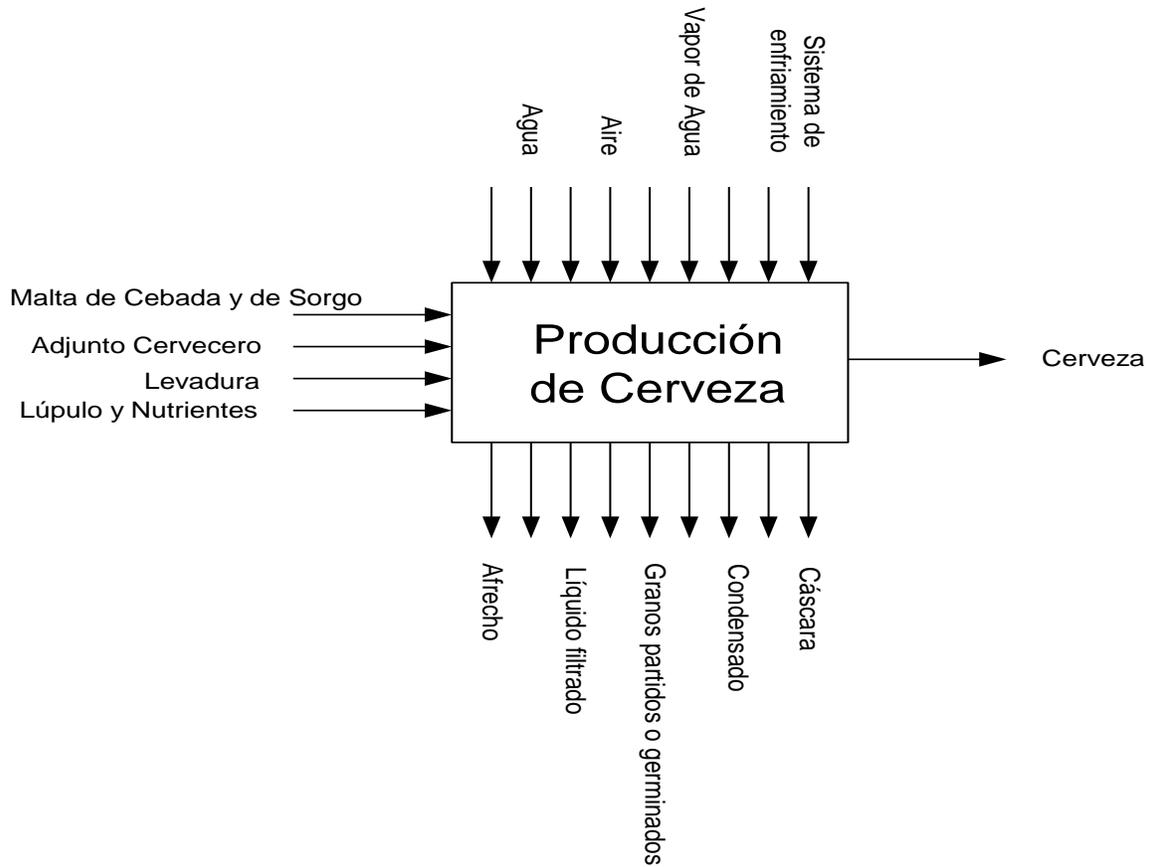
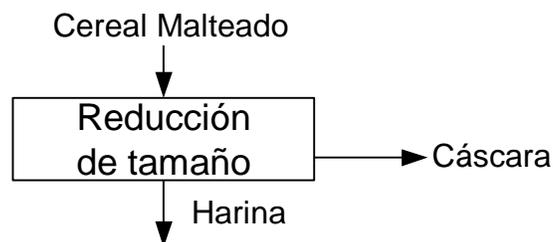


Figura 3.2 Función Total del Proceso.

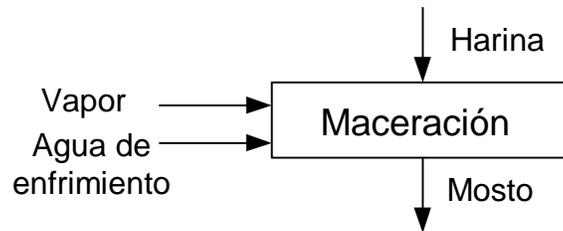
3.1.3 Funciones Parciales.

Molienda

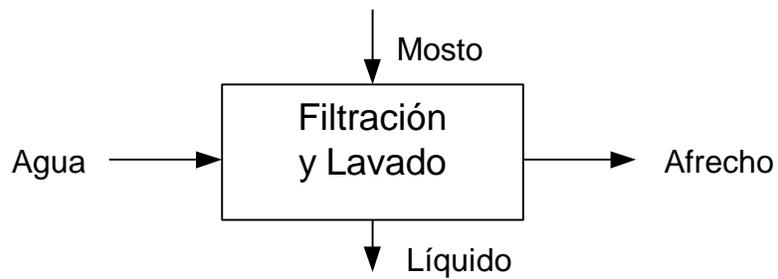


Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

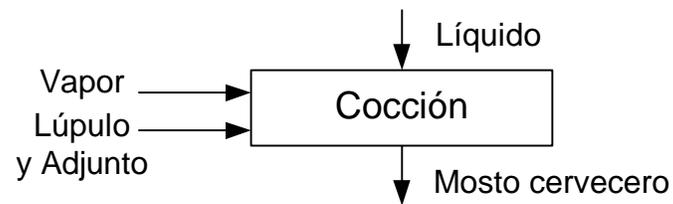
Maceración



Filtración y Lavado

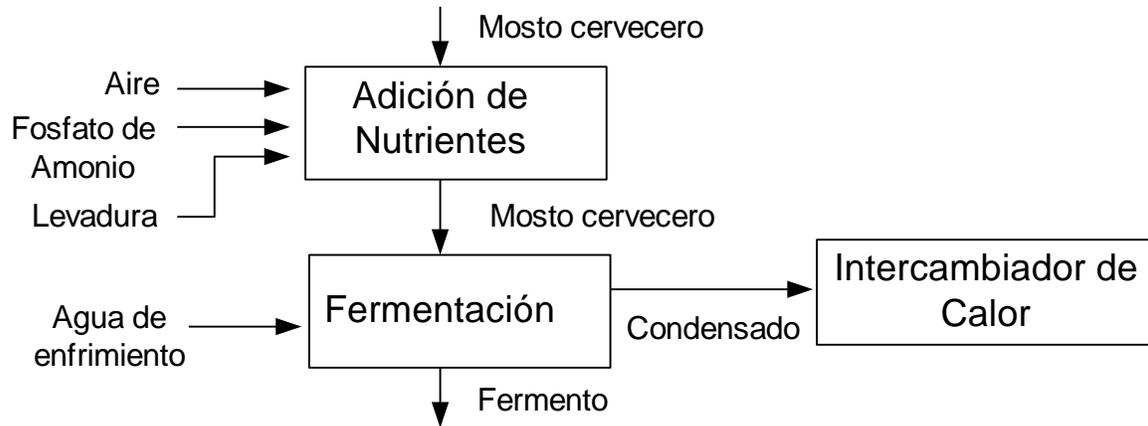


Cocción

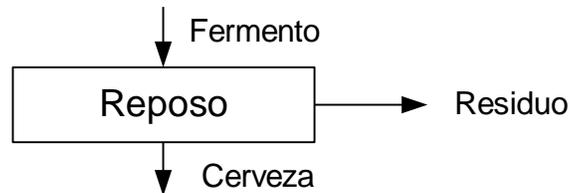


Fermentación

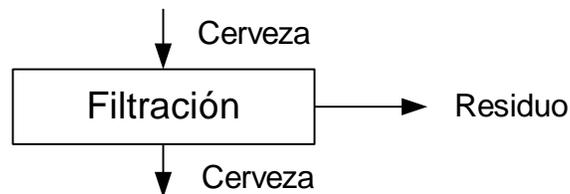
Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.



Reposo

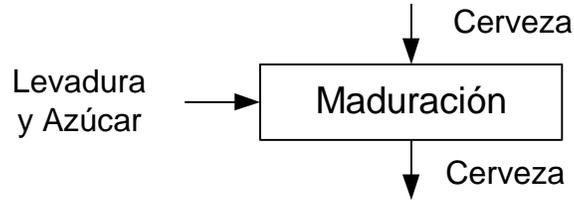


Filtración

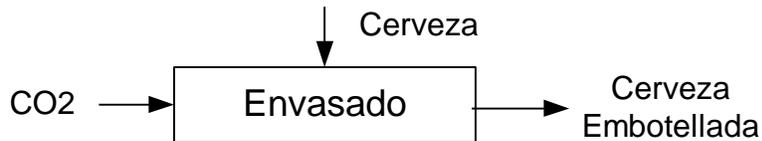


Maduración (Reposo y Clarificación).

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.



Invasado



3.2 Selección de los Equipos (Ulrich).

La selección de los equipos se realizó mediante el texto de Diseño y Economía de los Procesos de IQ (Ulrich, 1985)

3.2.1 Transportadores

Estos equipos son usados para el transporte de la malta y adjuntos desde su recepción realizada por camiones hasta los elevadores y transportadores de cangilones hacia las tolvas de dosificación o canalones.

Tabla 3.1. Selección de Transportadores

Criterios	Tipo de Equipos		
	Banda	Tornillo Sin fin	Elevador de cangilones
Dimensiones	D: 0.5-2 m L: 10-50 m	D: 0.15-0.50 m L: 5-25 m	D: 0.15-0.50 m L: 8-25 m

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Límite normal de Temperatura(0C)	300	400	200
Capacidad máxima de sólidos (m3/s)	0.06	0.007-0.08	0.02
Costo	Moderado	Alto	Moderado

En este tipo de industria se utilizan el tornillo sin fin, con el objetivo de rasgar el grano y el elevador de cangilones como banda transportadora pues es el más eficiente para este tipo de material. En nuestro caso en particular utilizaremos el tornillo sin fin.

3.2.2 Molinos

Son empleados para el desprendimiento de la película del grano de malta, triturándose el cuerpo principal del almidón al grado necesario para poderlo someter al proceso.

Tabla 3.2. Selección de molinos

Criterios	Tipo de Equipos		
	Molinos de rotación de bolas	Martillos de alta velocidad	Energía de fluidos
Relación de reducción	10 cm a 1 mm	10 cm a 10 µm	1 mm a 1µm
Capacidad máxima (kg/s)	0.1	2	1
Materiales específicos del tipo de molino	Hueso Granos y Cereales Arcillas	Hueso Carbón Granos y Cereales Coque	Arcillas
Compatibilidad con diferentes materiales (sólidos pegajosos)	Limitado	Excelente	Limitado
Costo	Bajo costo	Costo moderado	Alto

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Por las características de la materia prima se escogió el molino de martillo pues cumple con todas las condiciones para el proceso, además de que en la bibliografía se reporta que este equipo es el más utilizado para reducir el tamaño.

3.2.3 Macerador y tanque de cocción con Calentamiento y Agitación

En las etapas de calentamiento por las características de dichas etapas, que tratan grandes volúmenes a batch, la principal característica es que son tanques agitados con medios de calentamiento y para la selección se compara si calentar con una chaqueta o serpentín.

Tabla 3.3. Selección de los tanques agitados con calentamiento

Criterios	Tipo de Equipos	
	Macerador con Chaqueta	Macerador con Serpentín
Volumen que ocupa	No ocupa	Ocupa
Consumos de energía	–	Altos
Área de transferencia	Mayor	Menor
Costo de Fabricación	Mayor	Menor
Mantenimiento	Difícil	Fácil
Cantidad de calor a extraer	Mayor	Menor
Fluidos de intercambio	Aceites, vapor, agua	Vapor, agua

Los tanques con chaquetas son los más efectivos en cuanto al área de transferencia de calor, por lo que escogió una chaqueta para el diseño y operación del equipo.

3.2.4 Agitadores

Tabla 3.4. Selección del agitador

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Criterios	Tipo de Agitadores		
	Turbina	Hélice o propela	Paleta
Velocidad de rotación	300-1000 rpm	300 rpm máx.	150 rpm máx.
Consumo energético	Bajo	Alto	Bajo
Volumen de agitación	Grandes	Volúmenes menores de 2.5 m ³	Grandes
Suspensiones	Hasta 50% masa de sólidos	Hasta 80% masa de sólidos	Bajo contenido de sólidos
Costos	Bajo	Moderado	Bajo

El instrumento seleccionado para nuestro proceso es un agitador de hélice, ya que el mismo tiene un costo moderado, también debido a que el mezclado que se necesita no es grande e intenso. También se tuvo en cuenta las propiedades de la mezcla que se va a agitar, su viscosidad y densidad.

3.2.5 Filtros

Para la selección del filtro se tuvo en cuenta el tipo de filtro, siendo de acción periódica, la productividad, el costo y las particularidades del proceso.

Tabla 3.5. Selección de filtros

Criterios	Tipo de Equipos		
	Marco y placa	Prensa	Exigencias

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Tamaño de las partículas disueltas	Pequeñas	Pequeñas	Pequeñas
Caída de presión	Grandes	Más Grandes	Moderadamente Grandes
Contenido de sólidos	No depende	Medio	-----
Volumen de filtrado	Pequeños	Pequeños	-----
Suspensiones	Cualquier rango	Hasta 80% masa de sólidos	
Principales sustancias	Jarabes, licores, suspensiones concentradas y cereales	Aceites , sustancias viscosas	Cereal
Costo de adquisición	Altos	Altos	Menor

En la selección del filtro se tuvo en cuenta las propiedades de las sustancias que participan en la filtración y la compresibilidad de la misma. El filtro de marcos y placas se escoge porque sus especificidades son compatibles con la operación y aunque tiene un costo elevado comparado con otros, es de fácil construcción.

3.2.6 Intercambiadores de calor

Son usados para enfriar el mosto en su recorrido hacia los tanques de fermentación y facilitar la acción del amoníaco como refrigerante. Son importantes en la industria de los procesos químicos, pues son utilizados para la conservación y transferencia de energía.

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Tabla 3.6. Selección de Intercambiadores de Calor

Criterios	Tipo de Equipos		
	Tubo y coraza	Doble tubo	Exigencias
Presión	Presión máxima: 30.7 MPa	Mayores de 30.7 MPa	
Temperatura	De -200 a 600 °C	De -100 a 600 °C	Entre 20 y 100 °C
Área de transferencia de calor	Hasta 800 m ²	Menor de 10 m ²	
Caída de presión	0.2 y 0.6	0.6 y 1	
Tamaño	De 10 a 100 m ² por concha, son adaptables y flexibles	De 0.25 a 200 m ² , construcción modular estándar	
Dimensiones	Espesor máximo de la concha: 2 in DI: 57-108 mm DE: 76- 159 mm	DI: 6 mm, los más comunes son 12 o 17.25 mm	
Mantenimiento	Más difícil	Necesita de espacio.	
Costo de adquisición	Caros	Baratos	Menor costo posible

El intercambiador a instalar es de doble tubo ya que cumple con las condiciones y es más barato.

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

3.2.7 Bombas

Son del tipo axial y se emplean para transportar los diferentes fluidos conformados a lo largo del proceso. Por lo general empleados en evacuaciones realizadas en el edificio de cocinas, como las salidas entre: Olla de mezclas, filtración (afrechos), olla de cocción, tanques de fermentación, tanques de maduración, tanques de almacenamiento y por ultimo hacia la llenadora.

Se propone el empleo de bombeo programado para satisfacer pronta y eficientemente la presión y caudales requeridos en cualquier instante, sin aplicar una fuerza innecesaria y con un mantenimiento mínimo.

Tabla 3.7. Selección de bombas

Criterios	Tipo de Equipos		
	Bomba centrífuga (flujo axial)	Bomba reciprocante	Exigencias
Capacidad	Máxima de 1500 m ³	Caudales pequeños, flujos menores de 40 l/min.	
Temperatura	-240 a 500 °C	-10 a 270 °C	De 20 a 150 °C
Eficiencia	50 a 85 %	40 a 85%	Mayor eficiencia posible
Viscosidad	Bajos intervalos.	Alta.	Fluidos pocos viscosos.
Tipo de fluido a tratar	Dificultades con los fluidos corrosivos. Puede bombear fluidos que contengan sólidos en suspensión.	Para fluidos corrosivos.	Líquido claro, con sólidos en suspensión.

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Costo de adquisición	Baratas.	Caro.	Menor costo posible
----------------------	----------	-------	---------------------

Para el proceso las bombas son centrífugas de flujo axial ya que se va a tratar fluidos pocos viscosos, pocos corrosivos y con sólidos en suspensión. Además estas sirven para mover grandes volúmenes con bajos diferenciales de presión.

3.2.8 Tanques de almacenamiento del producto final.

Una de las principales variables a controlar en este equipo es la temperatura por lo que sería uno de los parámetros más importantes a la hora de la selección del tipo de equipo para la instalación del mismo.

Tabla 3.8. Selección de Tanques de almacenamiento.

Criterios	Tipo de Tanques de almacenamiento del producto final		
	Fondo cilíndrico	Fondo cónico	Exigencias
Tiempo de almacenamiento	Se recomienda hasta 30 días	Se recomienda hasta 30 días	
Intervalo de temperatura	Temperaturas desde 250 hasta 800 °C	Temperaturas desde -250 hasta 800 °C	Temperatura de 10°C
Presión	Presión máx. de 17 atm	Presión máx. de 14 atm	Presión atm
Dimensionamiento	L: 20 m D: 10 m V: 1600 m ³	V: 15000 m ³	

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Costo de adquisición	Menos costosos	Costosos	Menor costo posible
----------------------	----------------	----------	---------------------

Los tanques de fondo cónico a pesar de que sean más costosos cumplen con los requisitos para lograr un buen almacenamiento del producto final.

3.3 Balances de Masa y Energía.

Los balances de masa y de energía se realizaron tomando como base la demanda y el consumo que tendría la cerveza de sorgo en el mercado regional.

Nomenclatura de las corrientes

MP: Masa de Materia Prima.

MPT: Masa de Materia Prima Triturada

Mm: Masa Mosto macerado

V_a: Volumen de Agua

T_a: Temperatura del Agua

ρ_a: Densidad del agua

Az: Azúcar

Af: Afrecho

C: Cerveza

Q_g: Calor ganado en una corriente fría

Q_c: calor cedido por una corriente caliente

η: eficiencia tecnológica del equipo

A: Agua

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

R: Residuo

B_x: Brix.

Mfilt: Masa de Mosto Filtrado 2

M_f: Masa de Mosto Filtrado

MA: Masa de Agua

V: Masa de Vapor

L: Masa de Lúpulo

V_{total}: Masa de Vapor total del sistema

MC: Masa del Mosto Cocinado

VM: Masa de Vapor Macerador

VTC: Masa de Vapor del tanque de Cocción.

M_{comb}: Masa de combustible en las calderas

C_p: Capacidad Calorífica

P_c: valor calórico

R_f: Residuo del fermentador

λ: Calor latente.

3.3.1 Balances de Materiales

Datos

Capacidad de la planta: 78 500 L/año de cerveza (78,5 HL/año).

$$\rho_{agua} = 1.0 \frac{kg}{litros}$$

$$C_{p_{agua}} = 4.18 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

$$\rho_{mezcla} = 0.944 \frac{kg}{litros}$$

$$C_{p_{mezcla}} = 3.81 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}$$

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Tomando como base 1 día de producción.

Tabla 3.9. Balances de Masa

Equipo	Datos	Ecuaciones	Resultados
Molino		B. Total MP = MPT	MP = 348,89 Kg MPT = 348,89 Kg
Macerador	T _A : 38 °C MPT: 348,89 Kg ρ _A : 992.7 Kg/m ³ V _A : 3 m ³	B. Total Mm = MPT+MA MA = V _A * ρ _A	Mm= 3 348,89 Kg MA= 3 000 Kg
Filtro	Mm= 3 348,89 Kg Af = 20% Mm	B. Total Mf= Mm - Af	Mf= 2 679,112 Kg Af= 669,778 Kg
Tanque cocción	Mf= 2 679,112 Kg Az: 113,39 Kg L = 1,74 Kg	B. Total MC = Mf + Az + L	MC = 2 794,24 Kg
Filtro	MC= 2 794,42 Kg R = 1%	B. Total Mfilt = MC - R	Mfilt = 2 766,48 Kg R = 27,94 Kg
Fermentador	Mfilt= 2 766,48 Kg Bx(Mfilt)=16 Bx(Rf)=7.89	B. Total C = Mfilt – Rf B. Parcial Bx(Mfilt)* Mfilt = Bx(Rf)*Rf +	C =2589,46 Kg Rf = 177,47 Kg

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

	Bx(C)=6.8	Bx(C)*C	
--	-----------	---------	--

3.3.2 Balances de Energía

Datos

P: 0.784 mPa

T: 169.39 °C

λ: 2051.6 kJ/kg

Tabla 3.10. Balances de Energía

Equipo	Datos	Ecuaciones	Resultados
Macerador	Cpi-CpA: 1cal/g°C Cpi-CpA: 4.19 Kj/Kg°C Cpf: 1-0.0056°Brix Ti:38 °C Tf: 78 °C Cpt:3.2908 kJ/kg°C Brix: 18	$Qg+Qc=0$ $Qg=-Qc$ $Qg=Mm*\Delta T*Cp$ $Qc=V*\lambda$ $V=Qc/\lambda$	$Qg=440\ 821,088\ kJ$ $Qc=-440\ 821,088\ kJ$ $VM=214,93\ kg$
Tanque Cocción	Cpi-CpA: 1cal/g°C Cpi-CpA: 4.19 Kj/Kg°C Cpf: 1-0.0056°Brix	$Qg+Qc=0$ $Qg=-Qc$ $Qg=MC*\Delta T*Cp$	$Qg=337\ 931,446\ kJ$ $Qc=-337\ 931,446\ kJ$

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

	<p>Ti:68 °C</p> <p>Tf: 105 °C</p> <p>MC=24 219,042 kg</p> <p>Cpt:3.2684 kJ/kg°C</p> <p>Brix: 22</p>	<p>$Q_c = V \cdot \lambda$</p> <p>$V = Q_c / \lambda$</p>	<p>VTC= 164,764 kg</p>
Calderas	<p>P:0.784 mPa</p> <p>η: 0.8</p> <p>T_A:25 °C</p> <p>$\Delta H_{\text{vaporsat}}$:2768.1 kJ/kg</p> <p>Pc: 43064kJ/kg</p>	<p>$V_{\text{total}} = V_M + V_{TC}$</p> <p>$Q_g + \eta \cdot Q_c = 0$</p> <p>$Q_c = -Q_g / \eta$</p> <p>$Q_g = V_{\text{total}} \cdot \Delta H_{\text{vapor}}$</p> <p>$Q_c = M_{\text{comb}} \cdot P_c$</p>	<p>$V_{\text{total}} = 379,69 \text{ Kg}$</p> <p>$Q_g = 1\ 051\ 031,61 \text{ kJ}$</p> <p>$Q_c = -1\ 051\ 031,61 \text{ kJ}$</p> <p>$M_{\text{comb}} = 24,42 \text{ kg}$</p>

3.4 Dimensionamiento de los Equipos del Proceso.

El dimensionamiento de los equipos principales se realizó atendiendo a la propuesta de la instalación de una planta piloto de maltina de sorgo para niños celíacos y aprovechar estas instalaciones para producir cerveza de sorgo y cebada, adjunta a la Cervecería de Manacas. El diseño de los equipos y sistemas auxiliares se realizará utilizando como referencia el Rosabal, Ulrich, Pavlov, Mijeev, Kern, entre otros.

3.4.1 Tanques de mezclado con chaqueta y agitación

En las siguientes tablas a continuación está el dimensionamiento de los tanques, la chaqueta y el agitador de paleta. Ver tabla 3.11, 3.12, y 3.13.

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Tabla 3.11. Diseño tanque de cocción

Nomenclatura	Datos	Ecuación	Resultado	Referencia
Volumen total	$Q_v = 0,0031 \text{ m}^3/\text{s}$ $t = 6600 \text{ s}$	$V_t = V_{sust} + V_{sd}$ $V_{sus} = Q_v * t$ $V_{sd} = 0.2 * V_{sus}$	$V_{sus} = 13,32 \text{ m}^3$ $V_{sd} = 2,66 \text{ m}^3$ $V_t = 15,98 \text{ m}^3$	Rosabal
Diámetro	$V_t = 15,98 \text{ m}^3$	$Q = \sqrt[3]{\frac{4 * V_t}{1.5 * \pi}}$	$D = 3,68 \text{ m}$	Rosabal
Altura	$D = 3,68 \text{ m}$	$h = 1.5 * D$	$h = 5,53 \text{ m}$	Rosabal

Tabla 3.12. Diseño chaqueta de calentamiento

Nomenclatura	Datos	Ecuación	Resultado	Referencia
Área de transferencia de calor	$D = 3,68 \text{ m}$ $h = 5,53 \text{ m}$	$A = \pi * d * h * \left(\frac{\pi * d^2}{4} \right)$	$A = 74,53 \text{ m}^2$	Kern

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Ud	Rd = 0.005 $hd = \frac{1}{Rd}$ hd = 200	$Ud = \left(\frac{Uc * hd}{Uc + hd} \right)$	$731.3 \left(\frac{J}{s^{*0} C^{*m^2}} \right)$	Kern
Uc	h _{io} = 1500 Btu/hpie ² °F h _o : 476.9	$Uc = \frac{ho * hio}{ho + hio}$	361.8	Kern

Tabla 3.13. Diseño agitador de paleta

Nomenclatura	Datos	Ecuación	Resultado	Ref.
Largo del rodete(d)	D = 1,5 m	d = 0.65*D	0,975 m	Rosabal
Ancho del rodete		$\frac{d}{8}$	0,122 m	Rosabal
Altura desde el fondo del recipiente hasta el agitador		0.25*Ht	0.315 m	Rosabal
	Dp = 0.002 m ρl = 1000 kg/ m ³			

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Arquímedes (Ar)	$\rho_s = 700 \text{ kg/m}^3$ $\mu: 2.45 \text{ Pa}\cdot\text{s}$	$Ar = \frac{Dp^3 * \rho_l * (l - \rho_s)}{\mu l}$	$9.79 * 10^6$	Rosabal
Reynold Modificado (Re _m)	C = 14.8 tabla 9.1 K = 0 tabla 9.1 d = 0.512 tabla 9.1 Dp = 0.002 m	$Re_m = C * Ar * \left(\frac{Dp}{d}\right)^{0.5} * \left(\frac{D}{d}\right)^k$	$2.89 * 10^5$	Rosabal
Revoluciones del agitador(n)		$n = \frac{Re_m * \mu}{\rho_s^2 * D}$	6.1	Rosabal
Factor de potencia de agitación (Kn)	Re _m Fig. 20.2		0.15	Rosabal
Consumo de potencia del Agitador(N)		$N = kn * \rho * n^3 * D^3$	114 909,13 W 114,91 kWh	Rosabal

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

3.4.2 Filtro de marcos y placas

Al ser seleccionado un filtro de marcos y placas de acción continua por las características del mismo donde uno de los parámetros más importantes en el diseño y operación es el espesor del sedimento y el área del mismo. Ver tabla 3.14.

Tabla 3.14. Diseño filtro de placas y marcos

Nomenclatura	Datos	Ecuación	Resultado	Referencias
Masa de sólidos en la torta /unida de volumen de líquido	%Sólido. Torta 0.35	$X_t = \frac{x}{1-x}$	0.5385	Rosabal
Masa de sólidos /Masa de líquido (X_s)	%Sólido 0.21	$X_s = \frac{x}{1-x}$	0.2658	Rosabal
Masa de sólidos en la suspensión/ unidad de volumen de líquido	Densidad de la solución 1046 Kg/m ³	$C_s = X_s * \rho_s$	278.03 Kg/m ³	Rosabal
Masa de solidos en la torta/unidad de volumen filtrado(C)	pt: 948 Kg/m ³	$C_s = \frac{C_s}{1 - \left(\frac{C_s}{X_t * \rho_t} \right)}$	610.64	Rosabal
Superficie de filtración (S)	hmarco: 0.06 m	$S = \frac{C * V}{X_t * \rho_t * h}$	135,67 m ²	Rosabal

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

	Vfiltrado: 3,359 m ³			
Caída de presión(ΔP)	Tabla 17 Apéndice		1.2 MPa	Rosabal

3.4.3 Intercambiador de calor

Por la gran importancia que representa el mismo en el proceso de la maltina se diseña un intercambiador de tubos y conchas donde uno de los principales parámetros a diseñar es el área de transferencia de calor. Ver tabla 3.15.

Tabla 3.15. Diseño intercambiador de calor

Nomenclatura	Datos	Ecuación	Resultado	Referencia
ho	K:0.3 W/m °C deq=7*10 ⁻³ m Nu=234.3.3	$ho = \frac{K * Nu}{deq}$	4011.43 $\frac{W}{m^2 \cdot C}$	Kern
hio	V _{tubos} :1.5 m/s tm:32.5°C DI:1/2 pulg DE: 0.62 pulg	$hio = hi * \left(\frac{DI}{DE} \right)$ $hi = f \left(m, vtubos \right)$ (Fig. 25 Pág. 940)	hi=5604.8 $\frac{W}{m^2 \cdot C}$ hio=4520 $\frac{W}{m^2 \cdot C}$	Kern
Uc		$Uc = \frac{ho * hio}{ho + hio}$	2125.28 $\frac{W}{m^2 \cdot C}$	Kern
At aproximada	Δt:14.4 °C Lt = 16 pulg	$\frac{1}{Ud} = \frac{1}{Uc} + Rd$	Q=108*10 ³ W	

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

	$\lambda = 2152(\text{Keenan})$ $Rd = 0.001(\text{Tabla})$	$Q = \pi M * \lambda$ $A = \frac{Q}{Ud * \Delta t}$	$Ud: 980 \frac{W}{m^2 \cdot C}$ $At = 7.65 \text{ m}^2$	Kern
At real	$Nt: 28(\text{Tabla arreglo } \Delta, 2 \text{ pasos por la concha } 9)$ $a'_{tc} \text{ tubo}: 0.1076 \text{ m} (\text{Tabla } 10).$	$At \text{ real} = Atc * Nt$	$At \text{ real} = 8.56 \text{ m}^2$	Kern

3.4.4 Fermentador

Este equipo es uno de los más importantes en el proceso pues en el ocurre la transformación del mosto lupulado en cerveza.

Tabla 3.16. Diseño Fermentador

Nomenclatura	Datos	Ecuación	Resultados	Referencia
Volumen	$Q = 2,766 \text{ m}^3/\text{d}$ $t = 7 \text{ días}$	$V = \frac{Q}{t}$	$V = 0,395 \text{ m}^3/\text{d}$	O'Levenspiel
Altura	$D = 4,0 \text{ m}$ (supuesto)	$\frac{H}{D} = \left[-3 \right]$ Tomando 2	$H = 8 \text{ m}$	O'Levenspiel

3.4.5. Recipientes de almacenamiento para el proceso

Se necesitan cinco tanques para el almacenamiento de las diferentes corrientes. Las dimensiones de estos se muestran en las tablas mostradas a continuación.

Tabla 3.17. Tanque de almacenamiento de materia prima.

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Parámetros	Valores	Unidades
Volumen	4.5	m ³
Diámetro	2,5	m
Altura	6	m
Material de construcción	Acero inoxidable	
Sustancias a manipular	Granos malteados	
Temp. de almacenamiento	30	°C
Presión de trabajo	1	atm

Tabla 3.18. Tanque de almacenamiento del azúcar

Parámetros	Valores	UM
Volumen	4.5	m ³
Diámetro	2,5	m
Altura	6	m
Material de construcción	acero inoxidable	
Temp. de almacenamiento	25	°C

Tabla 3.19. Tanque de almacenamiento de agua

Parámetros	Valores	UM
Volumen	10	m ³
Diámetro	4,0	m
Altura	7,0	m

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Material de construcción	Acero al carbono	
Sustancias a manipular	Agua	
Temp. de almacenamiento	25	°C
Presión de trabajo	1	Atm

Es necesario también realizar el diseño de los sistemas auxiliares, los cuales se muestran a continuación.

3.4.5 Generador de vapor y tratamiento de agua

El proceso requiere de 0,3 t/d de vapor, atendiendo a esta capacidad es necesario una caldera de tubos de agua, ya que estas satisfacen grandes demandas de vapor a altas presiones, por lo que se requiere de agua rigurosamente tratada para su buen funcionamiento.

3.4.6 Tuberías

Las tuberías a instalar serán de acero inoxidable.

3.4.6.1 Tubería de la alimentación de agua al macerador (T1)

Tabla 3.20. Diseño de tubería T₁

Parámetro		Ecuación	Resultados	Referencia
Datos				
Velocidad (m/s)	0,55	$v = \frac{Q}{A}$		Pavlov Rosabal
Flujo (m ³ /s)	3,47*10 ⁻⁵	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	D = 8,0*10 ⁻⁵ m	
		$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{\pi * V}}$	A = 5,08*10 ⁻⁹ m ²	

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

3.4.6.2 Tubería de alimentación al tacho (T2)

Tabla 3.21. Diseño de tubería T₂

Parámetro		Ecuación	Resultados	Referencia
Datos				
Velocidad (m/s)	0,55	$v = \frac{Q}{A}$		
Flujo (m ³ /s)	0,031	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	D = 0,191 m A = 0,028 m ²	Pavlov Rosabal
		$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{\pi * V}}$		

3.4.6.3 Tubería del mosto lupulado al tanque de Fermentación (T3)

Tabla 3.22. Diseño de tubería T₃

Parámetro		Ecuación	Resultados	Referencia
Datos				
Velocidad (m/s)	0,55	$v = \frac{Q}{A}$		
Flujo (m ³ /s)	0,032	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	D = 0,074 m A = 4,29*10 ⁻³ m ²	Pavlov Rosabal
		$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{\pi * V}}$		

3.4.6.4 Tubería de alimentación al intercambiador de calor para enfriar la mezcla (T4)

Tabla 3.23. Diseño de tubería T₄

Parámetro		Ecuación	Resultados	Referencia

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Datos				
Velocidad (m/s)	0,55	$v = \frac{Q}{A}$		
Flujo (m ³ /s)	0,032	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	D = 0,074 m A = 4,29*10 ⁻³ m ²	Pavlov Rosabal
		$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{\pi * V}}$		

3.4.6.5 Tubería de la cerveza para el tanque de Maduración (T5)

Tabla 3.24. Diseño de tubería T₅

Parámetro		Ecuación	Resultados	Referencia
Datos				
Velocidad (m/s)	0.55	$v = \frac{Q}{A}$		
Flujo (m ³ /s)	0.029	$A = \frac{\pi * D^2}{4}$	D = 0,069 m A = 3,78*10 ⁻³ m ²	Pavlov Rosabal
		$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{\pi * V}}$		

3.4.7 Bombas

3.4.7.1 Bomba que impulsa el agua al tanque de agua para proceso (B1)

Tabla 3.25. Diseño de bomba B₁

Parámetro	Datos	Ecuación	Result.	Parámetro
-----------	-------	----------	---------	-----------

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Carga	$\Delta Z = 6 \text{ m}$ $v = 0,55 \text{ m/s}$ $D = 0,2 \text{ m}$ $\mu: 0,0023$ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ $\rho: 1053 \text{ g/m}^3$ $\Sigma K = 6,34$ (ver Anexo 9) $L = 60 \text{ m}$	$H = \Delta Z + \left(\frac{\Delta P}{\rho} * g\right) + \left(\frac{\alpha * \Delta V^2}{2} * g\right) + h_p$ $\Delta Z = Z_2 - Z_1$ $h_p = \left(\frac{f * L}{D} + \Sigma K\right) * \left(\frac{V^2}{2 * g}\right)$ $Re = \frac{v * D * \rho}{\mu}$	$f = 0,023$ Fig 3.9 $h_{pt} = 13,24 \text{ m}$ $Re = 12191,66$ $H = 19,24 \text{ m}$	Carga
Flujo(m ³ /s)	$3,472 * 10^{-7}$			Flujo(m ³ /s)
Potencia	$\eta = 85\%$	$N = \frac{\rho * g * H * Q}{1000\eta}$	$N = 8,26 \text{ kW}$	Potencia

3.4.7.2 Bomba que impulsa el mosto lupulado al intercambiador de calor (B2)

Tabla 3.26. Diseño de bomba B₂

Parámetro	Datos	Ecuación	Result.	Parámetro
Carga	$\Delta Z = 3 \text{ m}$ $v = 0,78 \text{ m/s}$ $D = 0,15 \text{ m}$ $\mu: 0,0023$ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ $\rho: 1053 \text{ g/m}^3$	$H = \Delta Z + \left(\frac{\Delta P}{\rho} * g\right) + \left(\frac{\alpha * \Delta V^2}{2} * g\right) + h_p$ $\Delta Z = Z_2 - Z_1$ $h_p = f * \left(\frac{1}{D} + \Sigma K\right) * \left(\frac{V^2}{2} * g\right)$	$f = 0,037$ Fig 3.9 $h_{pt} = 12,19 \text{ m}$ $Re = 53413,04$	Carga

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

	$\Sigma K = 7,26$ (ver Anexo 9) $L = 20 \text{ m}$	$Re = \frac{v * D * \rho}{\mu}$	H = 15,19 m	
Flujo(m ³ /s)	3,876*10 ⁻⁵			Flujo(m ³ /s)
Potencia	$\eta = 85\%$	$N = \frac{\rho * g * H * Q}{1000\eta}$	N = 7,28 kW	Potencia

3.4.7.3 Bomba que impulsa el mosto lupulado enfriado al tanque de Fermentación (B3)

Tabla 3.27. Diseño de bomba B₃

Parámetro	Datos	Ecuación	Result.	Parámetro
Carga	$\Delta Z = 9 \text{ m}$ $v = 0,78 \text{ m/s}$ $D = 0,15 \text{ m}$ $\mu: 0,0023$ Pa*s $\rho: 1053 \text{ g/m}^3$ $\Sigma K = 6,85$ (ver Anexo 9) $L = 25 \text{ m}$	$H = \Delta Z + \left(\frac{\Delta P}{\rho} * g \right) + \left(\frac{\alpha * \Delta V^2}{2} * g \right) + hp$ $\Delta Z = Z2 - Z1$ $hp = f * \left(\frac{1}{D} + \Sigma K \right) * \left(\frac{V^2}{2} * g \right)$ $Re = \frac{v * D * \rho}{\mu}$	$f = 0,037$ Fig 3.9 $hpt = 13,02$ m $Re =$ $53413,04$ $H = 22,02 \text{ m}$	Carga

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Flujo(m ³ /s)	3.2*10 ⁻⁵			Flujo(m ³ /s)
Potencia	$\eta = 85\%$	$N = \frac{\rho * g * H * Q}{1000\eta}$	N = 8,72 kW	Potencia

3.4.7.4 Bomba que impulsa la cerveza al tanque de Maduración (B4)

Tabla 3.28. Diseño de bomba B₄

Parámetro	Datos	Ecuación	Result.
Carga	$\Delta Z = 2m$ $v = 0,45 \text{ m/s}$ $D = 0,5 \text{ m}$ $\mu: 0,0023$ Pa*s $\rho: 1053 \text{ g/m}^3$ $\Sigma K = 5,76$ (ver Anexo 9) $L = 30$	$H = \Delta Z + \left(\frac{\Delta P}{\rho} * g\right) + \left(\frac{\alpha * \Delta V^2}{2} * g\right) + h$ $\Delta Z = Z2 - Z1$ $h_p = f * \left(\frac{1}{D} + \Sigma K\right) * \left(\frac{V^2}{2} * g\right)$ $Re = \frac{v * D * \rho}{\mu}$	$f = 0,0156 \text{ Fig 3.9}$ $h_{pt} = 6,696 \text{ m}$ $Re = 103010,87$ $H = 8,696 \text{ m}$
Flujo (m ³ /s)	2,99*10 ⁻⁵		
Potencia	$\eta = 85\%$	$N = \frac{\rho * g * H * Q}{1000\eta}$	N = 3,22 kW

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

3.5 Análisis Económico.

3.5.1 Costo de adquisición del equipamiento.

$$Costo_{Actual} = Costo_{Original} \frac{Indice_{Actual}}{Indice_{Original}}$$

Índice actual.....585,7 año 2013 (Chemical Engineering, January 2013)

Índice original.....109,1 año 1967 (Peters, 2006)

Tabla 3.29. Costo de adquisición del equipamiento

Equipos	No de Equipos	Costo original (\$)	Costo actual (\$)
Molino de Martillos	2	35 200	189 550,87
Condensador	2	13 300	71 620,07
Tanque Fermentador	6	30 500	164 241,52
Agitador	4	4000	21 539,87
Tanque Macerador	1	41 900	225 630,16
Tanque Cocción	1	41 900	225 630,16
Tanque Reposo	6	18 500	99 621,91
Tanque Almacenamiento PF	8	18 500	99 621,91
Elevadores	2	29 100	79 697,53
Tina Extracción	1	4 800	10 213,94

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Cribas	2	5100	10 769,94
Filtro	2	29 100	156 702,57
Transportadores	2	13 200	71 081,58
Tanque Almacenam. MP	4	15 000	99 621,91
Bombas	4	2 900	15 616,41
Intercambiador de Calor	2	1 400	1 615,49
Válvulas	34	300	62 811,09
Costo Total (\$).			4 564 298,81(MP)

3.5.2 Costo Total de Inversión (CTI)

La estimación del costo total de inversión se realizó utilizando los factores de proporción y las ecuaciones correspondientes a la tabla 17 del Peters, adaptándola a las características de la inversión.

CTI = Costo Fijo de Inversión (CFI) + Inversión de Trabajo (IT)

CTI = CFI + IT

IT = 15 % CTI

CFI = Costos directos+ C.indirectos + Derecho de contrato + Contingencia

El costo de adquisición de los equipos asciende a un total de 4 564 298,81CUP.

Tabla 3.30. Estimación del Costo Total de Inversión.

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Estimación de los Costos Directos		
Componentes	%	Costo (\$)
Costo del equipamiento (E)		4 564 298,81
Instalación	39% E	1 780 076,536
Instrumentación	13% E	593 358,8453
Instalaciones eléctricas	10% E	456 429,88
Tuberías	31% E	1 414 932,63
Facilidades de servicio	55% E	2 510 364,346
CD		6 755 162,237
Estimación de los Costos Indirectos		
Componentes	%	Costo (\$)
Ingeniería y supervisión	32% E	1 460 575,619
CI		1 460 575,619
CD + CI		8 215 737,856
Otros Componentes	%	Costo (CUP)
Derecho de contrato	5% (CD + CI)	410 786,89
Contingencia	10% (CD + CI)	812 573,79
Costo Fijo de Inversión (CFI)		9 448 098,532
Costo Total de Inversión (CTI)		11 115 410,04

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

3.5.3 Costo Total de Producción (CTP)

Para la estimación del costo total de producción se utilizaron los factores de proporción y las ecuaciones correspondientes que se encuentran en la tabla 27 del Peters.

$$CTP = \text{Costo de fabricación (CF)} + \text{Gastos Generales (GG)}$$

$$CTP = CF + GG$$

$$CF = \text{Costos directos (CD)} + \text{Cargos Fijos (Cf)} + \text{Costos Indirectos (CI)}$$

$$CF = CD + Cf + CI$$

$$GG = \text{Distribución y venta (DV)} + \text{Admon (A)} + \text{Inves. y Des. (ID)}$$

$$\text{Depreciación} = \frac{CFI - VR}{Vd}$$

VR: valor residual, asumimos VR=0

VD: vida útil igual a 20 años.

Tabla 3.31. Estimación del Costo Total de Producción.

Estimación de los Costos Directos		
Componentes	%	Costo (\$)
Materia prima (5% sorgo-50% cebada)		315 137,11
Mano de obra	10 %CTP	130 369,11
Supervisión	15 % Mano de obra	19 555,37
Requerimientos	10 %CTP	130 369,11
Mantenimiento y reparación	2 %CFI	188 961,97
Suministro	0.5 % CFI	47 240,49
CD = 551 339,57 + 0.215 CTP		

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Estimación de Cargos Fijos		
Componentes	%	Costo (\$)
Depreciación		472 404,93
Impuestos	1 %CFI	94 480,98
Seguros	0.4 % CFI	37 792,39
Cf(\$)=Depre + 0,014 CFI		
Cf(\$) = 604 678.30		
Estimación de los Costos Indirectos		
Costos indirectos	5% CTP	65 184,55
CI = 0,05 CTP		

Tabla 3.32. Estimación de los Gastos Generales.

Gastos Generales	
Componentes	%
Administrativos	2 % CTP
Distribución y ventas	2 %CTP
Investigación y desarrollo	5 %CTP
GG = 0.09 CTP	

Como $CTP = CF + GG$, sustituyendo las ecuaciones obtenidas en las tablas anteriores tenemos que:

$$CTP = 1\ 156\ 017,87 + 0.355\ CTP.$$

$$CTP = 1\ 792\ 275.77\ \$/año.$$

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

3.5.4 Cálculo de la Ganancia.

Expresión de cálculo

$$\text{Ganancia} = \text{Precio de venta del producto} - \text{Costos totales de producción}$$

Tabla 3.33. Características de los productos finales.

Producto	Precio	Cantidad Anual	UM	Valor del Producto (\$/año)
Cerveza	1,35 (\$/L)	78 500	(L/año)	105 975,00
Afrecho	0,68 (\$/Kg)	10 466,41	(Kg/año)	7 117,15
Precio de venta de los productos finales (\$)				113 092,15
Ganancia (\$)				-1 679 183,62

3.5.5 Determinación de los Indicadores Dinámicos Económicos.

Cálculo del Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Recuperación (TIR).

El Valor Actual Neto (VAN) es uno de los más importantes indicadores económicos que se tuvo en cuenta, ya que es el valor que se obtiene cuando se termina la vida útil y es la forma de comprobar si la inversión que se propone es rentable.

$$\text{Valor Actual Neto} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujo de caja}}{(1+i)^k} - \text{Inversión Total}$$

VAN = \$454 229,89

TIR = 27%.

Cálculo del Tasa de Recuperación de la Inversión.

$$TRI = \frac{CTI}{G}$$

TRI: Tiempo de recuperación de la inversión

El período de recuperación de la inversión será de 7 años (ver Anexo 14).

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

3.5.6. Análisis de sensibilidad de la alternativa propuesta

Después de haber realizado el análisis económico de la planta, se obtuvo que no era factible su instalación pues el período de recuperación de la inversión es de 7 años, para contrarrestar este efecto se varió el precio del coproducto de la fábrica, los resultados obtenidos se muestran a continuación.

Tabla 3.34 Análisis de Sensibilidad para el precio del coproducto.

Precio (\$/Kg)	VAN (\$)	PRD (años)
0,5	-592 478,69	18
0,6	-244 244,8	16
0,68	34 342,31	10
0,7	103 989,09	9
1,35	2 367 509,37	7
1,40	2 367 509,37	5
1,45	2 367 509,37	4
1,5	2 889 860,20	3

Se graficó el VAN obtenido en función del precio del coproducto(afrecho) (ver Anexo 15).

3.5.7 Ahorro por concepto de Sustitución de Importaciones.

El presente análisis se realiza en función de la mejor combinación de malta de cebada con malta de sorgo obtenida en los estudios realizados a nivel de laboratorio, para obtener cerveza.

Experimentalmente se ha demostrado que todas las combinaciones estudiadas de estos dos cereales (cebada y sorgo) dan bajo rendimiento alcohólico en el proceso, por los motivos expresados anteriormente, a pesar de ello este breve análisis está basado en la sustitución de un 5% y un 20% de la malta de cebada por malta de sorgo.

Alternativa 1

Asumiendo una producción normal de 300 HL/día en la Cervecería Manacas, para un 70% de malta y un 30 % de Adjunto, serían necesario utilizar 4000 Kg de materia prima (cebada), si se pretende sustituir el 5 % de esa malta de cebada por malta de sorgo, daría que:

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Para una producción de cerveza de cebada el costo en materia prima sería de:

Precio de la malta de cebada en el mercado internacional = \$ 798/ton

$\$0,798 /\text{Kg} * 4\ 000 \text{ Kg/d} = \$3\ 192 /\text{día} * 300 \text{ día/año} = \mathbf{\$ 957\ 600 /año de malta de cebada.}$

Si se empleara una variante de combinar la malta de sorgo con malta de cebada. Para un 95% de la malta de cebada y el 5% como malta de sorgo se ahorrarían:

Precio estimado del sorgo en el mercado regional = \$ 400/ton

$\$0,798 /\text{Kg} * 3\ 800 \text{ Kg/d} = \$ 3\ 032,4 /\text{día} * 300 \text{ día/año} = \mathbf{\$ 909\ 720 /año de malta de cebada.}$

$\$0,4 /\text{Kg} * 200 \text{ Kg/d} = \$ 80 /\text{día} * 300 \text{ día/año} = \mathbf{\$24\ 000 /año de malta de sorgo.}$

Consumo anual = **\$ 933 720 /año.**

Ahorro = \$ 23 800 /año.

Alternativa 2

Asumiendo una producción normal de 300 HL/día en la Cervecería Manacas, para un 70% de malta y un 30 % de Adjunto, serían necesario utilizar 4000 Kg de materia prima (cebada), si se pretende sustituir el 20 % de esa malta de cebada por malta de sorgo, daría que:

Para una producción de cerveza de cebada el costo en materia prima sería de:

Precio de la malta de cebada en el mercado internacional = \$ 798/ton

Precio estimado del sorgo en el mercado regional = \$ 400/ton

$\$0,798 /\text{Kg} * 4\ 000 \text{ Kg/d} = \$3\ 192 /\text{día} * 300 \text{ día/año} = \mathbf{\$ 957\ 600 /año de malta de cebada.}$

Si se empleara una variante de combinar la malta de sorgo con malta de cebada. Para un 80% de la malta de cebada y el 20% como malta de sorgo se ahorrarían:

$\$0,798 /\text{Kg} * 3\ 200 \text{ Kg/d} = \$ 2\ 553,6 /\text{día} * 300 \text{ día/año} = \mathbf{\$ 766\ 080 /año de malta de cebada.}$

$\$0,4 /\text{Kg} * 800 \text{ Kg/d} = \$ 320 /\text{día} * 300 \text{ día/año} = \mathbf{\$96\ 000 /año de malta de sorgo.}$

Costo anual = **\$ 862 080 /año.**

Capítulo III Selección y Diseño del Equipamiento. Análisis Económico.

Ahorro = \$ 95 520 /año.

3.6 Análisis Parcial de los Resultados.

De los resultados se puede plantear que:

Se realizó el dimensionamiento de la planta piloto acorde a la capacidad de la misma que fue de 785 HL de cerveza para 10 meses de trabajo; se llevó a cabo el análisis económico de la planta determinando para ello los indicadores estáticos, el costo de inversión que ascendió a \$11 115 410,04, el costo total de producción con un valor de \$1 792 275,77/año con pérdidas para el primer año de trabajo de la planta de – 1 709 083,62 /año, lo cual resulta lógico pues se ésta implementando una planta piloto nueva cuyo costo adquisitivo es alto y el precio de venta de sus productos no tiene un valor elevado en el mercado nacional; también se determinaron los indicadores dinámicos, el valor actual neto(VAN) es de \$454 229,89 /año con una tasa interna de recuperación de la inversión(TIR) de 27% y un período de recuperación de 7 años, valor elevado el cual pudiera disminuirse aumentando las proporciones de malta de sorgo, de producción nacional en la formulación.

El análisis económico realizado para las dos variantes de sustitución de la malta de cebada por malta de sorgo para la capacidad de producción de la cervecería, demostró que las dos alternativas son beneficiosas, pero se alcanzan mayores ahorros económicos \$ 95 520/año cuando se utiliza el 20 % de malta de sorgo lo cual es lógico pues se logra una mayor sustitución de la malta de cebada; aunque en el estudio preliminar los mejores resultados de calidad se obtienen para un 5% de sustitución de la malta, este análisis evidencia los beneficios que trae consigo la utilización parcial de la malta de sorgo en la producción de cerveza, ya que es una materia prima de producción nacional, pero sería necesario continuar el estudio de la etapa de sacarificación y del montaje de una pequeña maltería de sorgo, además del empleo de enzimas amilolíticas.

Conclusiones

1. En el estudio de la germinación para el malteado del sorgo el porcentaje de humedad fue la variable mas significativa y el efecto combinado de de ésta con la temperatura, aunque el sorgo empleado no era de buena calidad.
2. El estudio preliminar de emplear extractos de proteínas pudiera proporcionar mejoras en la etapa de germinación.
3. La obtención de malta de sorgo a una escala de planta piloto permitió corroborar los parámetros estudiados a nivel de laboratorio, no obstante se impone la caracterización de la misma y siempre emplear sorgo de buena calidad como el destinado a la alimentación de los niños celíacos.
4. La sustitucion de parte de la malta de cebada por malta de sorgo, ofreció buenos resultados en la etapa de maceración, no así en la etapa fermentativa pues se obtuvieron bajos resultados en el grado alcoholico en todas las muestras, incluyendo la patrón en valores de 0,66-1,50 por los problemas anteriormente explicados en su análisis.
5. El resto de los parámetros de calidad medidos a las cervezas, como contenidos de minerales, color, densidad, acidez y olor están dentro de los parámetros establecidos para las cervezas claras.
6. La inversión de una planta piloto que combine malta de cebada con malta de sorgo, ofrece indicadores económicos bajos con un VAN de \$ 454 229,89 /año, una TIR de 27% y un TRI de 7 años.
7. El análisis de las alternativas del empleo de parte de la malta de cebada por malta de sorgo puede brindar a la cervecería un ahorro de \$ 23 800 /año, para un 5 % de sustitución de la cebada y \$ 95 520 /año para un 20 % , para su producción.

Recomendaciones

1. Continuar el estudio en detalle de las etapas del malteado de sorgo, principalmente la germinación, por ser esta la etapa donde ocurre la transformación del grano en enzima, que a pesar de tener el sorgo bajo poder diastásico es una opción para sustituir parte de la malta de cebada en la industria cervecera, así como medir las características de calidad de la malta obtenida.
2. Estudiar la etapa de maceración, determinando la temperatura de conversión de los almidones mediante lectura de Brix y prueba de almidón.
3. Valorar el estudio de aumentar la cantidad de malta de sorgo en estas producciones, empleando enzimas exógenas y valorar económicamente esta alternativa de sustituir malta de cebada por malta de sorgo y pequeñas cantidades de enzimas exógenas.

Bibliografía

1. "Cervecería Antonio Díaz Santana." from http://www.ecured.cu/index.php/Cervecer%C3%ADa_Antonio_D%C3%ADaz_Santana
2. "Cerveceros Caseros. Cervezas sin malta de Cebada." from www.cerveceroscaseros.com.ar/Cervezas%20sin%20malta%20de%20.
3. "Cerveza de Sorgo." from www.rakocerveya.blogspot.com/2008/.../antecedentes-erveza-de-sorgo.ht
4. "Cervezas." from [es.wikipedia.org/wiki/Pito_\(erveza\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Pito_(erveza))
5. "Cervezas del Mundo." from <https://www.conectia.es/www.cervezasdelmundo.com/body.php?...3>
6. "Cervezas sin Gluten." from www.latinguru.com/tag/erveza-sin-gluten
7. "Cómo se hace la Cerveza." from www.foro-cualquiera.com/gastronomia/34751-se-hace-la-erveza.html
8. "Composicion y propiedades nutricionales de la erveza." from http://www.nutricion.org/publicaciones/revista_marzo_02/zerveza/valornutritivo.htm.
9. "Costo de Equipos Industriales." from www.matche.com/EquipCost/
10. "Elaboración de Cerveza." from www.es.wikipedia.org/wiki/Elaboración_de_erveza
11. "Enfermedad Celíaca." from www.celiacosmadrid.org/PRIMER%20SIMPOSIO%20INTERNACIO
12. "Evaluación de Riesgos." from http://www.aesan.msc.es/AESAN/web/evaluacion_riesgos/evaluacion_riesgos.shtml.
13. "Gluten Exorphin." from http://en.wikipedia.org/wiki/Gluten_exorphin
14. "Historia de la Cerveza." from www.elreferente.es/.../la-erveza-una-bebida-con-7000-anos-de-histo
15. "Molinado de Cereales." from www.cervebel.es/lamolienda.htm

Bibliografía.

16. Alemán, L. (2007). Estudio de la obtención de alcohol etílico a partir de sorgo Ingeniería Química. Santa Clara, Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas.
17. ALFA-LAVAL (1989). "Manual de elaboración de cerveza."
18. Boffill, Y. (2009). "Incremento del valor agregado del sorgo mediante procesos biológicos industriales."
19. Borneo, R. (2008). "Química, ciencia y tecnología de los cereales. Cereales en el mundo: Sorgo."
20. Brizuela, E. (1987). "Aspectos Fundamentales del Diseño de Plantas Industriales." Tomo I.
21. Brizuela, E. (1987). "Aspectos Fundamentales del Diseño de Plantas Industriales." Tomo II.
22. Carter, P. (2009). Sorghum Milo. UTC. Madison, EDT.
23. Colaboradores, I. G. y. (2011). Producción de Bioetanol empleando las enzimas generadas del sorgo malteado. Revista AFINIDAD, Revista Afinidad. Vol. 68 144-149
24. Contino, Y. (2012). Propuesta tecnológica de una planta piloto de obtención de maltinas de sorgo destinadas a enfermos celíacos Ingeniería Química. Santa Clara, Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas.
25. Fernández, O. (2004). "Alcohol a partir de sorgo dulce. Sacarificación y fermentación." Comunicaciones Científicas y Tecnológicas.
26. Filho, W. G. V. (2010). Bebidas Alcohólicas. Sao Paulo, Editora Blucher.
27. Gómez, L. (2008). Estudios demuestran que la malta posee propiedades de gran valor nutritivo.
28. Gómez, L. (2009). Estudio preliminar para la obtención de cerveza a partir de sorgo udg-110 malteado y sin maltear.
29. Hann, R. (2007). "Usos del Sorgo Granífero en la Alimentación Humana y Otros."
30. Hough, J. (1990). "Biotecnología de la cerveza y de la malta."

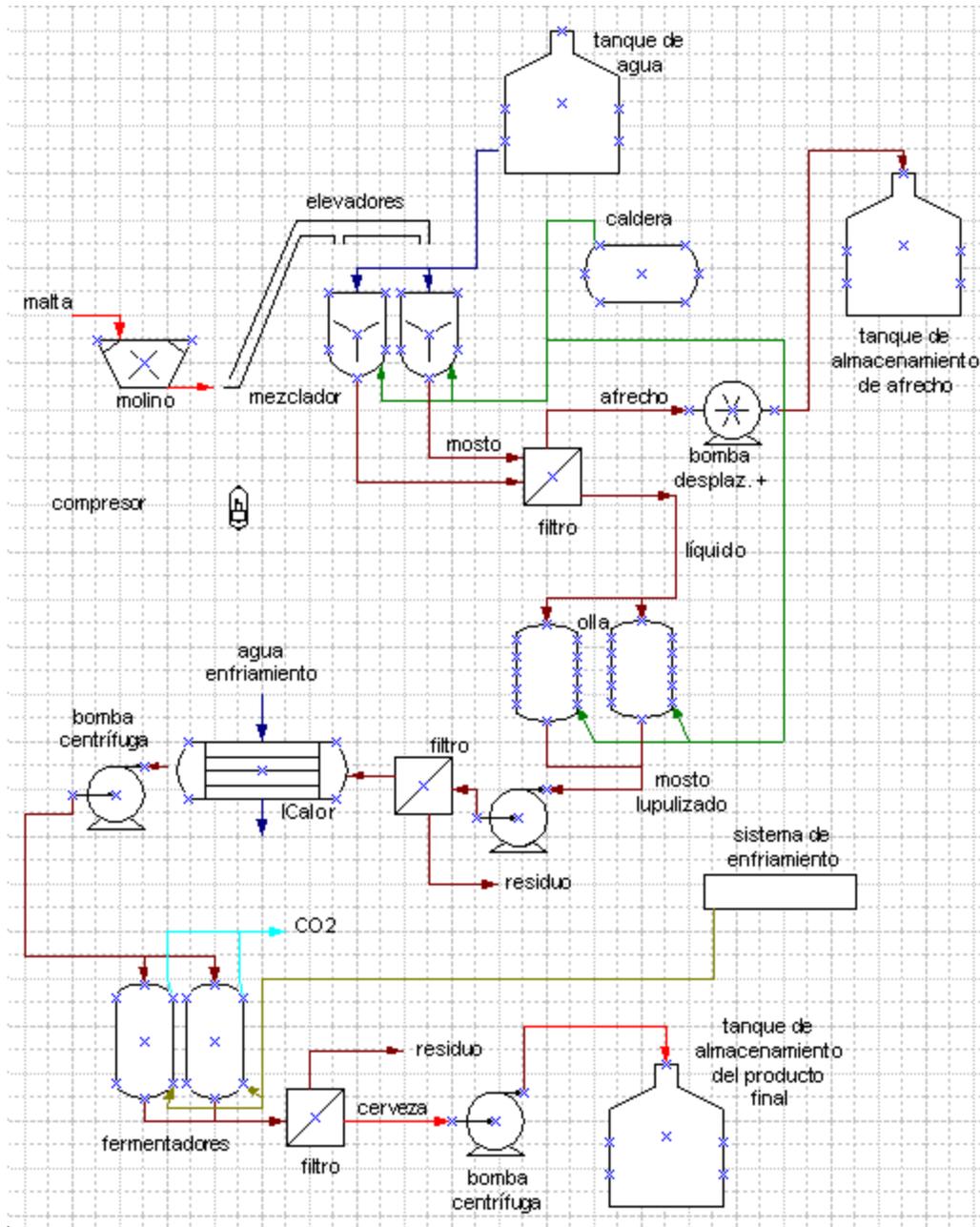
31. Kern, D. (1988). "Procesos de Transferencia de Calor."
32. normalización, I. E. d. (2002) Bebidas alcohólicas. Cerveza. Determinación de la acidez total.
33. Ozuna, Y. (2008). "Obtención de maltina a partir de sorgo malteado para niños celíacos."
34. Palmer, A. y. (1997). "Effect of mashing procedures on some sorghum varieties germinated at different temperatures." *Process Biochemistry* Vol.32: 147-158.
35. Pargas (1986).
36. Pavlov, K. (1981). "Problemas y Ejemplos para el Curso de Operaciones Básicas y Aparatos en Tecnología Química."
37. Perry, R. (1999). "Chemical Engineers Handbook. M. G.-H. Handbook."
38. Peters, M. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers.* . United States.
39. Quiao, S. (2004). "Antigen presentation to celiac lesion-derived T cells of a 33 mer gliadin peptide naturally formed by gastrointestinal digestion *J Immunol.*"
40. R, R. H. (2007). "Usos del Sorgo Granífero en la Alimentación Humana y Otros."
41. Ramírez, E. (2005). "Predicting the Chemical Composition of Sorghum grain by near infrared reflectance spectroscopy (NIRS)."
42. Ridgeley, B. (1996). *Sorghum Beer.* United States.
43. Rodríguez, L. (2005). Estudio de la obtención de alcohol etílico a partir de sorgo. *Ingeniería Química.* Santa Clara, Universidad Central "Martha abreu" de Las Villas.
44. Rodríguez, L. (2010). Obtención de Bioetanol a partir de sorgo, empleando las Enzimas generadas del malteo del propio grano. *Ingeniería Química.* Santa Clara Universidad Central "Martha Abreu" de Las Villas.
45. Rodríguez, Y. (2007). "Los cereales en la elaboración de Bebidas."
46. Rosabal, J. a. M. V. (1989). "Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas."
47. Sánchez, M. (2003). "Cultivo de sorgo granífero."

Bibliografía.

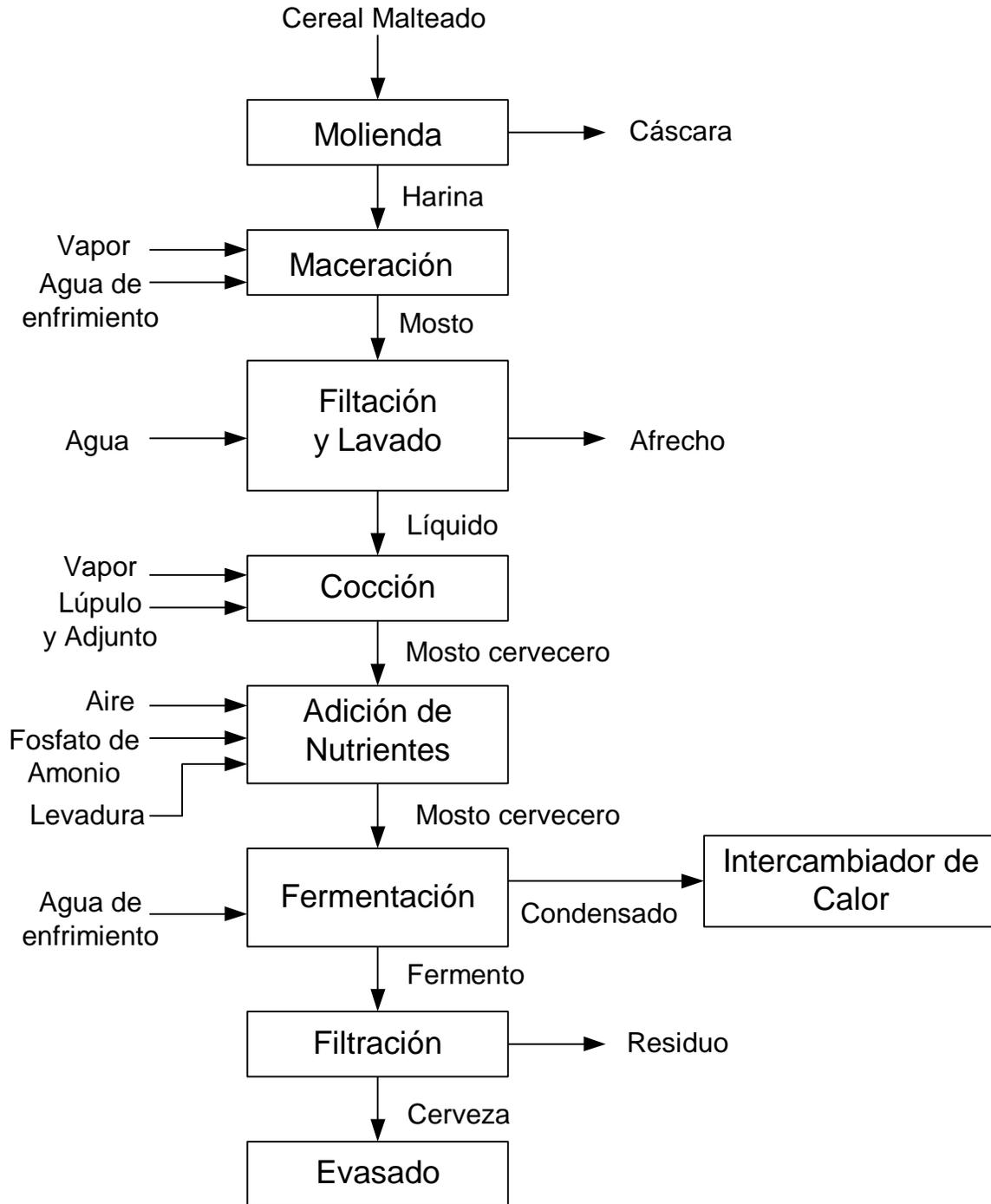
48. Sánchez, M. (2005). "Cultivo de Sorgo Granífero."
49. Saucedo (2008). "Uso del sorgo cocmo cereal para el tratamiento de niños celiacos."
50. Saucedo (2010). "Usos del sorgo en la conservación de los suelos."
51. Serna, S., O. (2005). "Utilización del Grano de Sorgo para Obtener otros Productos Industriales."
52. Smagalski, C. (2009). "Malting Sorghum for Bards Tale Gluten Free Beer."
53. SOUTO, G. (2007). "Cebada Cervecera y Malta."
54. Treybal, R. (1980). Operaciones de Transferencia de Masa. New York, Editorial Mc Graw-Hill.
55. Ulrich, G. "Diseño y Ecocomía de los Procesos de Ingeniería Química."
56. Ulrich, G. (1985). Diseño y Economía de los Procesos de IQ
57. Underkofler, L. (1954). "Industrial Fermentations."

Anexos

Anexo 1: Diagrama de Flujo del Proceso



Anexo 2: Diagrama de Bloques del Proceso



Anexo 3: Determinación del pH

Fundamento del método

El término pH es la forma de expresar la mayor o menor acidez de una solución en función de la actividad de los iones hidrógeno. La determinación se basa en medir el cambio en la concentración hidrogeniónica mediante una variación en el voltaje detectado por los electrodos del equipo. **(MACU, 1986)**.

Expresión de resultados

La lectura anotada es el valor del pH de la muestra.

Anexo 4: Determinación del Brix

Fundamento del método

Al atravesar un rayo de luz dos medios diferentes, el primero experimenta una variación en su trayectoria en un cierto ángulo, llamándosele a esta desviación refracción.

El índice de refracción varía con la temperatura, con la longitud de onda y con la concentración de sólidos solubles presentes. **(MACU, 1986)**.

Expresión de resultados

La lectura anotada es el valor que corresponde al °Bx de la muestra, expresado en %.

Anexo 5: Determinación del grado alcohólico en fermento.

Método Picnométrico

Se toman 100 ml de fermento, más 50 ml de agua destilada y ambos son adicionados a un balón, se calienta y se hace que la mezcla ebulle, a través de un condensador, se recoge un volumen de 50 ml de destilado en un matraz de 100 ml y se enrasa con agua destilada.

Con este producto se procede a realizar los análisis de medición del grado alcohólico que consiste en realizar un conjunto de pesadas al picnómetro, vacío, con agua destilada y hervida, y con el destilado. Entonces a través de la fórmula se obtiene la gravedad específica y con ese valor se va a la tabla "Determinación del alcohol en volumen y en peso por ciento según K. Windish, a 15 °C" donde se obtiene el valor del grado °GL

Todo el procedimiento se realizó a 15 °C pues a esa temperatura es a la que viene referido el valor del grado alcohólico.

$$S = 0.99913(C - A)/(B - A)$$

Donde:

S - gravedad relativa

A – peso del picnómetro vacío

B – peso del picnómetro con el agua destilada y hervida

C – peso del picnómetro con el destilado

Tabla para determinación del grado alcohólico por picnometría.

TABLE 1. — Determination of alcohol content in volume % in pure wine.

Peso de pedregal d (15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso de pedregal d (15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso de pedregal d (15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.
1.0000	0.00	0.00	0.00	0.9855	12.68	12.68	10.26	0.9710	20.92	20.92	23.56
0.9990	0.02	0.02	0.02	0.9710	13.40	13.40	11.00	0.9565	21.91	21.91	24.56
0.9980	0.03	0.03	0.03	0.9565	14.12	14.12	11.72	0.9420	22.90	22.90	25.56
0.9970	0.04	0.04	0.04	0.9420	14.84	14.84	12.44	0.9275	23.89	23.89	26.56
0.9960	0.05	0.05	0.05	0.9275	15.56	15.56	13.16	0.9130	24.88	24.88	27.56
0.9950	0.06	0.06	0.06	0.9130	16.28	16.28	13.88	0.8985	25.87	25.87	28.56
0.9940	0.07	0.07	0.07	0.8985	17.00	17.00	14.60	0.8840	26.86	26.86	29.56
0.9930	0.08	0.08	0.08	0.8840	17.72	17.72	15.32	0.8695	27.85	27.85	30.56
0.9920	0.09	0.09	0.09	0.8695	18.44	18.44	16.04	0.8550	28.84	28.84	31.56
0.9910	0.10	0.10	0.10	0.8550	19.16	19.16	16.76	0.8405	29.83	29.83	32.56
0.9900	0.11	0.11	0.11	0.8405	19.88	19.88	17.48	0.8260	30.82	30.82	33.56
0.9890	0.12	0.12	0.12	0.8260	20.60	20.60	18.20	0.8115	31.81	31.81	34.56
0.9880	0.13	0.13	0.13	0.8115	21.32	21.32	18.92	0.7970	32.80	32.80	35.56
0.9870	0.14	0.14	0.14	0.7970	22.04	22.04	19.64	0.7825	33.79	33.79	36.56
0.9860	0.15	0.15	0.15	0.7825	22.76	22.76	20.36	0.7680	34.78	34.78	37.56
0.9850	0.16	0.16	0.16	0.7680	23.48	23.48	21.08	0.7535	35.77	35.77	38.56
0.9840	0.17	0.17	0.17	0.7535	24.20	24.20	21.80	0.7390	36.76	36.76	39.56
0.9830	0.18	0.18	0.18	0.7390	24.92	24.92	22.52	0.7245	37.75	37.75	40.56
0.9820	0.19	0.19	0.19	0.7245	25.64	25.64	23.24	0.7100	38.74	38.74	41.56
0.9810	0.20	0.20	0.20	0.7100	26.36	26.36	23.96	0.6955	39.73	39.73	42.56
0.9800	0.21	0.21	0.21	0.6955	27.08	27.08	24.68	0.6810	40.72	40.72	43.56
0.9790	0.22	0.22	0.22	0.6810	27.80	27.80	25.40	0.6665	41.71	41.71	44.56
0.9780	0.23	0.23	0.23	0.6665	28.52	28.52	26.12	0.6520	42.70	42.70	45.56
0.9770	0.24	0.24	0.24	0.6520	29.24	29.24	26.84	0.6375	43.69	43.69	46.56
0.9760	0.25	0.25	0.25	0.6375	29.96	29.96	27.56	0.6230	44.68	44.68	47.56
0.9750	0.26	0.26	0.26	0.6230	30.68	30.68	28.28	0.6085	45.67	45.67	48.56
0.9740	0.27	0.27	0.27	0.6085	31.40	31.40	29.00	0.5940	46.66	46.66	49.56
0.9730	0.28	0.28	0.28	0.5940	32.12	32.12	29.72	0.5795	47.65	47.65	50.56
0.9720	0.29	0.29	0.29	0.5795	32.84	32.84	30.44	0.5650	48.64	48.64	51.56
0.9710	0.30	0.30	0.30	0.5650	33.56	33.56	31.16	0.5505	49.63	49.63	52.56

TABLE 1. (Continued)

Peso de pedregal d (15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso de pedregal d (15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.	Peso de pedregal d (15°)	Alcohol en peso por 100	Alcohol en volumen por 100	Gramos de alcohol en 100 c.c.
0.9700	0.31	0.31	0.31	0.5505	34.28	34.28	31.88	0.5360	50.62	50.62	53.56
0.9690	0.32	0.32	0.32	0.5360	35.00	35.00	32.60	0.5215	51.61	51.61	54.56
0.9680	0.33	0.33	0.33	0.5215	35.72	35.72	33.32	0.5070	52.60	52.60	55.56
0.9670	0.34	0.34	0.34	0.5070	36.44	36.44	34.04	0.4925	53.59	53.59	56.56
0.9660	0.35	0.35	0.35	0.4925	37.16	37.16	34.76	0.4780	54.58	54.58	57.56
0.9650	0.36	0.36	0.36	0.4780	37.88	37.88	35.48	0.4635	55.57	55.57	58.56
0.9640	0.37	0.37	0.37	0.4635	38.60	38.60	36.20	0.4490	56.56	56.56	59.56
0.9630	0.38	0.38	0.38	0.4490	39.32	39.32	36.92	0.4345	57.55	57.55	60.56
0.9620	0.39	0.39	0.39	0.4345	40.04	40.04	37.64	0.4200	58.54	58.54	61.56
0.9610	0.40	0.40	0.40	0.4200	40.76	40.76	38.36	0.4055	59.53	59.53	62.56
0.9600	0.41	0.41	0.41	0.4055	41.48	41.48	39.08	0.3910	60.52	60.52	63.56
0.9590	0.42	0.42	0.42	0.3910	42.20	42.20	39.80	0.3765	61.51	61.51	64.56
0.9580	0.43	0.43	0.43	0.3765	42.92	42.92	40.52	0.3620	62.50	62.50	65.56
0.9570	0.44	0.44	0.44	0.3620	43.64	43.64	41.24	0.3475	63.49	63.49	66.56
0.9560	0.45	0.45	0.45	0.3475	44.36	44.36	41.96	0.3330	64.48	64.48	67.56
0.9550	0.46	0.46	0.46	0.3330	45.08	45.08	42.68	0.3185	65.47	65.47	68.56
0.9540	0.47	0.47	0.47	0.3185	45.80	45.80	43.40	0.3040	66.46	66.46	69.56
0.9530	0.48	0.48	0.48	0.3040	46.52	46.52	44.12	0.2895	67.45	67.45	70.56
0.9520	0.49	0.49	0.49	0.2895	47.24	47.24	44.84	0.2750	68.44	68.44	71.56
0.9510	0.50	0.50	0.50	0.2750	47.96	47.96	45.56	0.2605	69.43	69.43	72.56
0.9500	0.51	0.51	0.51	0.2605	48.68	48.68	46.28	0.2460	70.42	70.42	73.56
0.9490	0.52	0.52	0.52	0.2460	49.40	49.40	47.00	0.2315	71.41	71.41	74.56
0.9480	0.53	0.53	0.53	0.2315	50.12	50.12	47.72	0.2170	72.40	72.40	75.56
0.9470	0.54	0.54	0.54	0.2170	50.84	50.84	48.44	0.2025	73.39	73.39	76.56
0.9460	0.55	0.55	0.55	0.2025	51.56	51.56	49.16	0.1880	74.38	74.38	77.56
0.9450	0.56	0.56	0.56	0.1880	52.28	52.28	49.88	0.1735	75.37	75.37	78.56
0.9440	0.57	0.57	0.57	0.1735	53.00	53.00	50.60	0.1590	76.36	76.36	79.56
0.9430	0.58	0.58	0.58	0.1590	53.72	53.72	51.32	0.1445	77.35	77.35	80.56
0.9420	0.59	0.59	0.59	0.1445	54.44	54.44	52.04	0.1300	78.34	78.34	81.56
0.9410	0.60	0.60	0.60	0.1300	55.16	55.16	52.76	0.1155	79.33	79.33	82.56
0.9400	0.61	0.61	0.61	0.1155	55.88	55.88	53.48	0.1010	80.32	80.32	83.56
0.9390	0.62	0.62	0.62	0.1010	56.60	56.60	54.20	0.0865	81.31	81.31	84.56
0.9380	0.63	0.63	0.63	0.0865	57.32	57.32	54.92	0.0720	82.30	82.30	85.56
0.9370	0.64	0.64	0.64	0.0720	58.04	58.04	55.64	0.0575	83.29	83.29	86.56
0.9360	0.65	0.65	0.65	0.0575	58.76	58.76	56.36	0.0430	84.28	84.28	87.56
0.9350	0.66	0.66	0.66	0.0430	59.48	59.48	57.08	0.0285	85.27	85.27	88.56
0.9340	0.67	0.67	0.67	0.0285	60.20	60.20	57.80	0.0140	86.26	86.26	89.56
0.9330	0.68	0.68	0.68	0.0140	60.92	60.92	58.52	0.0000	87.25	87.25	90.56

Anexo 6: Determinación de la humedad

Fundamento del método

La determinación de la humedad por este método se basa en la diferencia de pesadas después de estar expuesta la muestra a la deshidratación.

(MACU, 1986).

Procedimiento

1. Se pesan aproximadamente 5 g de la muestra que se va a analizar y se introducen en una mufla previamente tarada.
2. Se coloca la mufla en una estufa a 100 ° C durante 1 h.
3. Se coloca la muestra en la desecadora para que se enfríe, y luego se pesa.
4. El procedimiento se repite hasta que el peso sea constante.

Cada determinación de humedad debe realizarse con una réplica.

Expresión de los resultados:

$$\text{Humedad (\%)} = (A-B)/C$$

Donde:

A – Peso de la mufla, más el peso de la muestra.

B – Peso constante

C – Peso de la muestra exactamente.

Anexo 7: Carta Tecnológica de la Cervecería Manacas.



Ministerio De la Industria Alimentaria y la Pesca

Empresa Cervecería: Antonio Díaz Santana

Manacas. Villa Clara.

Carretera central Km 247. Manacas. Villa Clara.

CARTA TECNOLÓGICA.

CERVEZA 70% DE MALTA Y 30% DE AZÚCAR

MACERADOR

MALTA PILSEN..... 4000 KGS

AGUA..... 150 HLS

- ✓ Bajar la masa a 38° C en 15 minutos. Mantener ½ horas.
- ✓ Subir a 51° C en 15 minutos. Mantener ½ horas.
- ✓ Subir a 63° C en 10 minutos. Mantener 45 minutos.
- ✓ Subir a 71° C en 15 minutos. Mantener 40 minutos.

HACER PRUEBA DE SACARIFICACIÓN. (Yodo)

Subir a 78° C en 10 minutos. Bombear a la tina.

TACHO:

- Llenar a 310 HLS.
- Hervir durante 2 horas.
- Bombear a 300 HLS y aproximadamente 12° p (grados platos).

Azúcar Refino: 1300 KGS----- 26 Sacos

Lúpulo:

1. - Añadir 10 KGS de lúpulo amargo peletizado, después de romper la hervidura.
2. - Añadir 10 KGS de lúpulo aromático peletizado 30 minutos antes de bombearse.

Anexo 8: Carta Tecnológica de la Cervecería Manacas.

Ministerio De la Industria Alimentaria y la Pesca



Empresa Cervecería: Antonio Díaz Santana

Manacas. Villa Clara.

Carretera central Km 247. Manacas. Villa Clara.

CARTA TECNOLÓGICA.

CERVEZA 50% DE MALTA Y 50% DE AZÚCAR

MACERADOR

MALTA PILSEN..... 3160 KGS

AGUA..... 120 HLS

- ✓ Bajar la masa a 38° C en 15 minutos. Mantener ½ horas.
- ✓ Subir a 51° C en 15 minutos. Mantener ½ horas.
- ✓ Subir a 71° C en 15 minutos. Mantener 40 minutos.

HACER PRUEBA DE SACARIFICACIÓN. (Yodo)

Subir a 78° C en 10 minutos. Bombear a la tina.

TACHO:

- Llenar a 340 HLS.
- Hervir durante 2 horas.
- Bombear a 330 HLS y aproximadamente 16° p(grados platos)

Azúcar Refino: 3150 KGS ----- 63 Sacos.

Lúpulo Peletizado:

1. - Añadir 10 KGS de lúpulo amargo peletizado, después de romper la hervidura.
2. - Añadir 10 KGS de lúpulo aromático peletizado 30 minutos antes de bombearse.

Anexo 9: Cálculo de los Coeficientes de Resistencias Locales (K)

Accesorios	K Bba1		K Bba2		K Bba3		K Bba4	
	Cantidad	Total	Cantidad	Total	Cantidad	Total	Cantidad	Total
Entrada en un tubo desde un depósito de gran volumen	1	0.5	1	0.5	1	0.5	1	0.5
Codos de 90° estándar	6	4.5	7	5.25	6	4.5	5	3.75
Válvulas compuerta abierta	2	0.34	3	0.51	5	0.85	3	0.51
Salida de un tubo a un gran depósito	1	1	1	1	1	1	1	1
ΣK		6.34		7.26		6.85		5.76

Anexo 10: Análisis estadístico del diseño experimental del malteado.

Análisis de la Varianza para % Germinación

Fuente Suma de Cuadrados Gl Cuadrado medio F-Ratio P-Valor

A:Humedad	253.125	1	253.125	73.19	0.0034
B:Temperatura	6.125	1	6.125	1.77	0.2754
AB	45.125	1	45.125	13.05	0.0364
bloques	45.125	1	45.125	13.05	0.0364
Error Total	10.375	3	3.45833		

Total (corr.) 359.875 7

R-cuadrado = 97.1171 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 94.9548 por ciento

Error Estándar de Est. = 1.85966

Error absoluto de la media = 0.9375

Estadístico Durbin-Watson = 2.60843 (P=0.1673)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.323795

El StatAdvisor

La tabla de ANOVA divide la variabilidad en Germinacion en distintos segmentos separados para cada uno de los efectos después pruebe la significación estadística de cada efecto comparando la media al cuadrado contra una estimación del error experimental. En este caso, 3 de los efectos tienen los p-valores inferiores a 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95.0% de nivel de confianza. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 97.1171% de la variabilidad en Germinacion. El estadístico

R-cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 94.9548%. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 1.85966. El error absoluto de la media (MAE) de 0.9375 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es superior a 0.05, no hay indicios de correlación de serie en los residuos.

Anexo 11: Análisis estadístico del diseño experimental de obtención de cerveza para tres variables.

Análisis de la Varianza para Grado Alc.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor

A:Malta Sorgo+BC	0.00005	1	0.00005	0.00	0.7786
B:Adjunto+AC	0.57245	1	0.57245	28.01	0.0032
C:Temp. S.+AB	0.0018	1	0.0018	0.09	0.9425
bloques	0.00121	1	0.00121	0.06	0.8174
Error Total	0.10218	5	0.020436		

Total (corr.)	0.67769	9			

R-cuadrado = 84.9223 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 77.3835 por ciento

Error Estándar de Est. = 0.142955

Error absoluto de la media = 0.0784

Estadístico Durbin-Watson = 2.49852 (P=0.1192)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.279742

El StatAdvisor

La tabla de ANOVA divide la variabilidad en Grado Alc. en distintos segmentos separados para cada uno de los efectos. Después pruebe la significación estadística de cada efecto comparando la media al cuadrado contra una estimación del error experimental. En este caso, 1 de los efectos tienen los p-valores inferiores a 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95.0% de nivel de confianza. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 84.9223% de la variabilidad en Grado Alc.. El estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 77.3835%. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0.142955. El error absoluto de la media (MAE) de 0.0784 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es superior a 0.05, no hay indicios de correlación de serie en los residuos.

Anexo 12: Determinación de Acidez Total.

Determinación de la acidez total en las maltinas (Método por titulación con fenolftaleína)

Objetivo y alcance

Este método se establece para determinar la acidez total

Fundamento del método

El método se basa en la neutralización de las funciones ácidas titulables del producto, mediante la adición de un hidróxido alcalina, en presencia de un indicador de neutralización, cuyo cambio de color evidencia el punto final de la reacción.

Equipos

Vaso o erlenmeyer de vidrio, de 500 cm³.

Pipeta, de 25 cm³ ± 0,1 cm³, tipo flujo rápido.

Bureta.

Reactivos

Solución de fenolftaleína, 0,5% en 95% de alcohol etílico.

Solución estándar de hidróxido de sodio, 0,1 N.

Reactivos químicos

Solución de hidróxido de sodio, 0,1 N.

Fenolftaleína, solución al 0,5% en etanol.

Preparación de la muestra de ensayo

Procedimiento

Determinación

Se pone a hervir 250 ml de agua destilada en un frasco cónico de 500 ml y se mantiene hirviendo por dos minutos más, después de comenzar la ebullición. Después se adiciona mediante pipeta 1 ml si es oscura. Se continúa el calentamiento por un minuto, regulando el calor de modo que la ebullición se produzca en los 30 segundos finales.

Se retira del calor, se agita por 5 segundos y se enfría a temperatura ambiente. Se adicionan 0,5 ml de la solución indicadora de fenolftaleína y se valora con la solución de hidróxido de sodio hasta la aparición del color rosado permanente.

Expresión de los resultados

Método para los cálculos

La acidez total se calcula por la fórmula siguiente:

$$At = \frac{((v_1 - v_0) * N)}{v} \times \text{gravedad específica de la cerveza}] \times 0,09$$

Donde

At acidez total (ml NaOH 0,1 N/100 ml de muestra)

V_1 - volumen de solución de hidróxido de sodio consumidos en la valoración de la muestra (ml)

V_0 - volumen de solución de hidróxido de sodio consumido en la valoración del blanco (ml)

N- normalidad de la solución de hidróxido de sodio

V - volumen de la muestra utilizada en el ensayo (ml)

0,09 = cm³ equivalentes de una solución de ácido láctico 1,0 N

Anexo 13: Determinación de Proteínas Totales

Determinación de Proteínas Totales

Objetivo

Esta norma tiene como objeto establecer un método para la determinación de las proteínas totales en las maltas.

Aparato

Balones Kjeldahl

Balanza analítica

Pesa filtro

Molino de laboratorio

Reactivos

Ácido sulfúrico concentrado

Hidróxido de sodio al 20 %

Granallas de zinc

Indicador rojo de metilo

Catalizador de selenio

Solución de ácido sulfúrico 0.1 N

Solución de hidróxido de sodio 0.1 N

Determinación

Preparación de la muestra de ensayo

Se cogen alrededor de 10g de malta y se hacen pasar por el molino de laboratorio.

Se pesan de 1g a 4g de la malta molida. Se pesan exactamente dos muestras y se colocan cada una en un balón Kjeldahl de 700 a 800 ml de capacidad. Los cuellos de los frascos deben estar secos y al echar la malta se debe tratar de que no se adhiera ninguna partícula en el cuello del balón. Se añade una pequeña cantidad del catalizador y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Los balones se someten al calor, calentando directamente en el aparato especial para digestiones. En las bases de los balones debe colocarse un pequeño embudo para evitar ciertas pérdidas de $SO_4 (NH_4)_2$ durante la digestión.

La gestión dura alrededor de 1.5 horas. Se deja enfriar por espacio de 15 a 20 min.

Se adicionan 200 ml de agua destilada y se neutraliza con solución de NaOH al 20%. Para neutralizar se utiliza papel de tornasol. Después de neutralizar se añaden unas granallas de zinc para evitar los saltos durante la ebullición, por último se añade a 100 ml de solución NaOH. Inmediatamente los balones se colocan en el aparato de destilación recibiendo el destilado en un frasco conteniendo de 20 a 25 ml de solución de $SO_4H_2N/10$, tres gotas de rojo de metilo y agua suficiente para poder introducir el final del tubo del destilador. Se destila durante 20 min, pasado este tiempo se da por terminada la destilación. Se valora con solución de NaOH 0,1 N hasta el cambio amarillo del indicador.

Cálculo y expresión de los resultados:

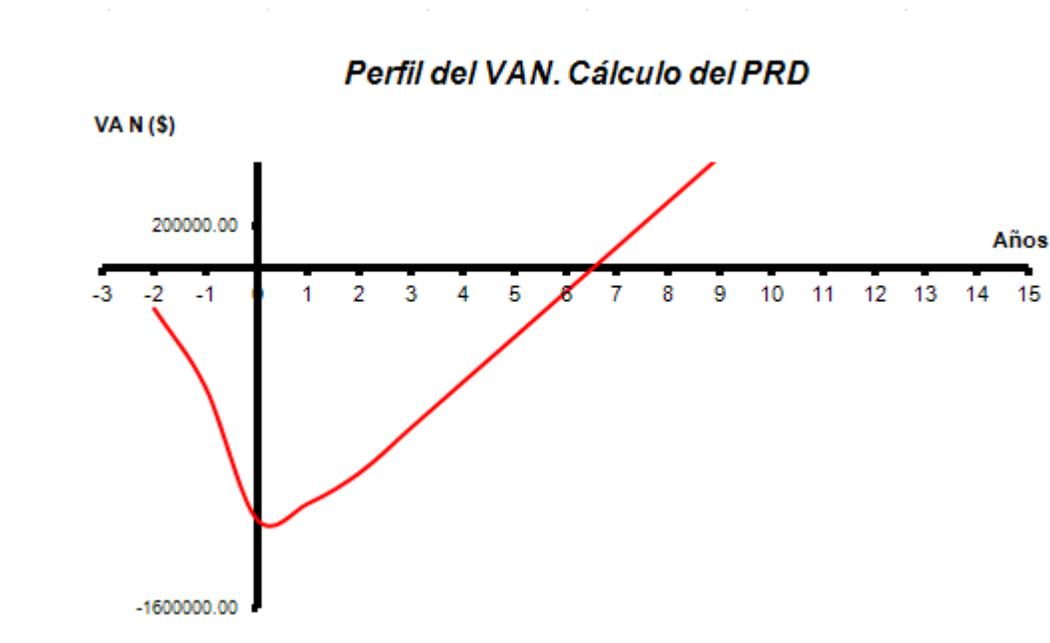
Para el cálculo

$$Base\ humeda = \frac{ml\ de\ SO_4H_2 - ml\ NaOH * 0,0014 * 6.25 * 100}{Pm}$$

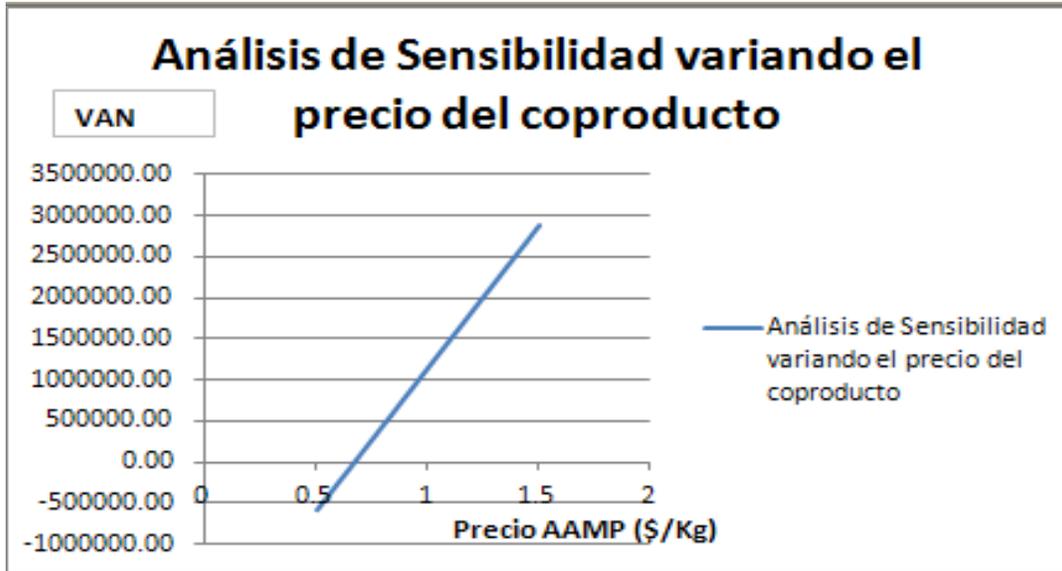
$$Base\ seca = B.Humeda * \left(\frac{100}{100 - \%Hum} \right)$$

Los resultados se expresaran en %.

Anexo 14: Perfil del Valor Actual Neto (VAN). Cálculo del PRD.



Anexo 15: Análisis de Sensibilidad variando el precio del coproducto..



Anexo 16: Análisis estadístico del diseño experimental de obtención de cerveza para dos variables.

Análisis de la Varianza para Grado Alc.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Malta Sorgo	0.0032	1	0.0032	0.11	0.7570
B:Adjunto	0.6272	1	0.6272	20.94	0.0060
AB	0.0128	1	0.0128	0.43	0.5422
bloques	0.00169	1	0.00169	0.06	0.8217
Error Total	0.14976	5	0.029952		

Total (corr.) 0.79465 9

R-cuadrado = 81.154 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 71.731 por ciento

Error Estándar de Est. = 0.173066

Error absoluto de la media = 0.0984

Estadístico Durbin-Watson = 2.52895 (P=0.1094)

Autocorrelación residual Lag 1 = -0.29375

El StatAdvisor

La tabla de ANOVA divide la variabilidad en Grado Alc. en distintos segmentos separados para cada uno de los efectos. después pruebe la significación estadística de cada efecto comparando la media al cuadrado contra una estimación del error experimental. En este caso,

1 de los efectos tienen los p-valores inferiores a 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero al 95.0% de nivel de confianza. El estadístico R-cuadrado indica que el modelo así ajustado explica el 81.154% de la variabilidad en Grado Alc.. El estadístico R-cuadrado ajustado, el cual es más adecuado para la comparación de números diferentes de variables independientes, es 71.731%. El error estándar de la estimación muestra la desviación normal de los residuos para ser 0.173066. El error absoluto de la media (MAE) de 0.0984 es el promedio del valor de los residuos. El estadístico Durbin-Watson (DW) examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada en el orden en el que se suceden en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es superior a 0.05, no hay indicios de correlación de serie en los residuos •