

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS

**"IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE PORCENTAJE DE ALMIDÓN EN HARINA Y
PORCENTAJE DE COCCIÓN EN PRODUCTO EXTRUIDO TIPO PELLET, ELABORADOS A
PARTIR DE GRANOS DE MAÍZ EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS"**

TESIS DE GRADO

LUISA FERNANDA MUÑOZ ALVAREZ
CARNET 12529-12

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, DICIEMBRE DE 2017
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS

**"IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE PORCENTAJE DE ALMIDÓN EN HARINA Y
PORCENTAJE DE COCCIÓN EN PRODUCTO EXTRUIDO TIPO PELLET, ELABORADOS A
PARTIR DE GRANOS DE MAÍZ EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS"**

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
LUISA FERNANDA MUÑOZ ALVAREZ

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, DICIEMBRE DE 2017
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

VICEDECANO: MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO

SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

ING. OVILA ASCENCIÓN PRADO DUQUE

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. HILDA PIEDAD PALMA RAMOS DE MARTINI

MGTR. ISIS ARACELY LÓPEZ CIFUENTES DE GALVEZ

ING. PAULETTE ANDREA VALDEZ GONZALEZ



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante LUISA FERNANDA MUÑOZ ALVAREZ, Carnet 12529-12 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02545-2017 de fecha 4 de octubre de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE PORCENTAJE DE ALMIDÓN EN HARINA Y PORCENTAJE DE COCCIÓN EN PRODUCTO EXTRUIDO TIPO PELLET, ELABORADOS A PARTIR DE GRANOS DE MAÍZ EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS"

Previo a conferírsele el título de INGENIERA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 7 días del mes de diciembre del año 2017.



**MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar**

Guatemala, 14 de agosto de 2017

Doctor Mario Santizo
Director Ingeniería Química e
Ingeniería en Industria de Alimentos
Universidad Rafael Landívar

Estimado Doctor Santizo:

Por este medio me es grato saludarle y desearle toda clase de éxitos en sus labores diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final de tesis titulado: **"IMPLEMENTACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS DE PORCENTAJE DE ALMIDÓN EN HARINA Y PORCENTAJE DE COCCIÓN EN PRODUCTO EXTRUIDO TIPO PELLET, ELABORADOS A PARTIR DE GRANOS DE MAÍZ EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ALIMENTOS"** de la estudiante Luisa Fernanda Muñoz Alvarez quien se identifica con número de carné 1252912. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy como aprobado dicho trabajo de tesis.

Sin otro particular, me suscribo de Ud.

Atentamente,



Ing. Ovila Prado

Asesora de Tesis

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo titulado: Implementación de las metodologías de porcentaje de almidón en harina y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet, elaborados a partir de granos de maíz en una planta procesadora de alimentos surgió debido a la necesidad de estandarizar la materia prima (harina de maíz) para evitar variaciones en la calidad del producto terminado (producto extruido tipo pellet). Era necesario implementar dichas metodologías en el laboratorio de aseguramiento de calidad debido a que en Guatemala no existen laboratorios de análisis que los realicen.

La harina de maíz posee un alto contenido de almidón, es adecuada para los procesos de extrusión al darle la estructura y porosidad característica de los productos extruidos. El porcentaje de almidón en la harina de maíz fue de 77.84 ± 0.98 %. El porcentaje de extrusión en el producto extruido tipo pellet fue 91.48 ± 1.71 %, este indicó la cantidad de almidón que se gelatinizó durante el proceso térmico de extrusión; está relacionado con la estabilidad, palatabilidad, digestibilidad y densidad aparente del producto extruido tipo pellet.

Para poder implementar las metodologías se estudiaron 4 lotes a los que se les tomaron 3 muestras aleatorias, analizando en total 12 muestras. Se realizó una verificación parcial para establecer si los datos obtenidos eran estadísticamente confiables; se evaluaron los siguientes parámetros: límite de detección, precisión en términos de repetibilidad y reproducibilidad, veracidad (sesgo) e incertidumbre. Se concluyó que ambas metodologías reportan datos correctos.

Descriptores: hidrólisis enzimática, verificación parcial, porcentaje de almidón, porcentaje de cocción

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Lo escrito sobre el tema	3
1.2	Resumen crítico del marco teórico	5
1.2.1	Uso de harina de maíz.....	5
1.2.2	Definición de pellet.....	5
1.2.3	Almidón en harina de maíz	6
1.2.4	Proceso de extrusión	8
1.2.5	Efecto en el almidón por extrusión.....	10
1.2.6	Gelatinización del almidón	11
1.2.7	Hidrólisis enzimática del almidón	13
1.2.8	Funcionamiento de la polarimetría.....	16
1.2.9	Principio del analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	16
1.2.10	Determinación del porcentaje de almidón con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	20
1.2.11	Determinación del porcentaje de cocción con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	21
1.2.12	Fórmula para determinar el porcentaje de almidón en harina de maíz y producto extruido tipo pellet	22
1.2.13	Fórmula para determinar el porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	22
1.2.14	Pruebas estadísticas	23
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	25
2.1	Objetivos	26
2.1.1	Objetivo general.....	26
2.1.2	Objetivos específicos.....	26
2.2	Hipótesis	28
2.2.1	Hipótesis nula (H_0).....	28
2.2.2	Hipótesis alternativa (H_a)	28
2.3	Variables	29
2.3.1	Variables independientes.....	29
2.3.2	Variables dependientes	29
2.4	Definición de las variables.....	30
2.4.1	Variables independientes.....	30

2.4.2	Variables dependientes	32
2.5	Alcances y limitaciones	33
2.5.1	Alcances	33
2.5.2	Limitaciones.....	34
2.6	Aporte.....	35
III.	MÉTODO.....	36
3.1	Sujetos y unidades de análisis	36
3.1.1	Sujetos.....	36
3.1.2	Unidades de Análisis.....	36
3.1.3	Equipo.....	37
3.1.5	Materiales y Reactivos del Equipo	44
3.1.6	Reactivos	45
3.1.7	Equipo de seguridad	46
3.2	Procedimiento	47
3.2.1	Procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	47
3.2.2	Procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de cocción en cereales extruidos.....	68
3.3	Diseño y metodología estadística.....	76
3.3.1.1	Diseño experimental.....	76
3.3.2	Descripción de las unidades experimentales.....	77
3.3.3	Variable respuesta.....	78
3.3.4	Metodología de análisis	78
IX.	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	83
X.	DISCUSIÓN.....	88
XI.	CONCLUSIONES.....	97
XII.	RECOMENDACIONES	99
XIII.	REFERENCIAS.....	100
IX.	ANEXOS.....	103
9.1	Glosario.....	103
9.2	Resultados del Laboratorio Externo	104
9.3	Datos Originales Análisis del Porcentaje de Almidón en Harina de Maíz 104	
9.4	Datos Originales Análisis del Porcentaje de Cocción en Producto Extruido Tipo Pellet	105

9.5	Datos Originales de la Verificación Parcial de la Metodología del Porcentaje de Almidón en Harina de Maíz	106
9.6	Datos Originales de la Verificación Parcial de la Metodología del Porcentaje de Cocción en Producto Extruido Tipo Pellet	108
9.7	Costo de la Metodología del Porcentaje de Almidón	110
9.8	Desarrollo de las Metodologías	112
9.9	Cálculos de Muestra.....	114
3.3.2	9.9.1 Determinación del porcentaje de almidón en harina de maíz.	114
3.3.3	9.9.2 Determinación del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1: Polisacáridos	14
Tabla No. 2: Equipo	37
Tabla No. 3: Instrumentos y cristalería.....	41
Tabla No. 4: Materiales y reactivos del equipo	44
Tabla No. 5: Reactivos	45
Tabla No. 6: Equipo de seguridad	46
Tabla No. 7: Experimentos y tratamientos	76
Tabla No. 8: Variables respuesta.....	78
Tabla No. 9: Porcentaje de almidón en harina de maíz	83
Tabla No. 10: Porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	83
Tabla No. 11: Prueba t- student para porcentaje de almidón en harina de maíz..	84
Tabla No. 12: Prueba t- student para porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet	84
Tabla No. 13: Rango para porcentaje de almidón en harina de maíz	84
Tabla No. 14: Rango para porcentaje de cocción en producto extruido.....	84
Tabla No. 15: Repetibilidad por lote para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	85
Tabla No. 16: Repetibilidad por día para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	85
Tabla No. 17: Reproducibilidad para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	85
Tabla No. 18: Repetibilidad por lote para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	85
Tabla No. 19: Repetibilidad por día para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	86
Tabla No. 20: Reproducibilidad para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	86
Tabla No. 21: Incertidumbre para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	86
Tabla No. 22: Incertidumbre para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	86
Tabla No. 23: Limite de detección para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	87
Tabla No. 24: Limite de detección para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	87
Tabla No. 25: Costo análisis del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	87
Tabla No. 26: Datos originales metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz	104
Tabla No. 27: Datos originales metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet	105
Tabla No. 28: Repetibilidad por lote de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	106
Tabla No. 29: Repetibilidad por día de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	106

Tabla No. 30: Reproducibilidad de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	107
Tabla No. 31: Incertidumbre en la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	107
Tabla No. 32: Limite de detección de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	108
Tabla No. 33: Repetibilidad por lote de la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	108
Tabla No. 34: Repetibilidad por día de la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	108
Tabla No. 35: Reproducibilidad de la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	109
Tabla No. 36: Incertidumbre en la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	109
Tabla No. 37: Limite crítico de la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet	110
Tabla No. 38: Costo de materiales y reactivos del equipo	110
Tabla No. 39: Costo de reactivos para buffer de acetato de sodio	111
Tabla No. 40: Costo de reactivos para solución de Ácido tricloroacético.....	111
Tabla No. 41: Costo de reactivos para solución de Amiloglucosidasa.....	112
Tabla No. 42: Desarrollo de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.....	112

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen No.1: Estructura amilosa	7
Imagen No. 2: Estructura amilopectina	7
Imagen No. 3: Gelatinización del almidón.....	12
Imagen No. 4: Hidrólisis del almidón por amilasas	15
Imagen No. 5: Prueba de sensores y membrana enzimática	18
Imagen No. 6: Vista interior frontal del Analizador bioquímico YSI 2700 SELCT. 52	
Imagen No. 7: Instalación de membrana enzimática	55
Imagen No. 8: Resultados del laboratorio externo para el porcentaje de almidón en harina de maíz y producto extruido tipo pellet	104

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama No. 1: Procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.....	47
Diagrama No. 2: Preparación de solución de Acetato de buffer	48
Diagrama No. 3: Preparación de solución de Ácido tricloroacético	49
Diagrama No. 4: Preparación de buffer del equipo.....	50
Diagrama No. 5: Colocación de la solución de buffer en el equipo Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	51
Diagrama No. 6: Colocación de la solución estándar de dextrosa 2.5 g/L en el equipo Analizador bioquímico YSI 2700.....	53
Diagrama No. 7: Colocación de membrana enzimática de dextrosa	54
Diagrama No. 8: Toma de muestra de harina de maíz	56
Diagrama No. 9: Cernido de harina de maíz	58
Diagrama No. 10: Determinación del porcentaje de humedad	59
Diagrama No. 11: Preparación de la muestra para análisis del porcentaje de almidón.....	61
Diagrama No. 12: Preparación del blanco	64
Diagrama No. 13: Lectura de dextrosa en el equipo Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	66
Diagrama No. 14: Procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de cocción en productos extruidos tipo pellet	68
Diagrama No. 15: Toma de muestra de producto extruido tipo pellet.....	69
Diagrama No. 16: Molienda de producto extruido tipo pellet	71
Diagrama No. 17: Preparación de la muestra para análisis del porcentaje de cocción	74

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación No. 1: Porcentaje de almidón total	22
Ecuación No. 2: Porcentaje de almidón gelatinizado.....	22
Ecuación No. 3: Porcentaje de cocción.....	23
Ecuación No. 4: t student.....	79
Ecuación No. 5: Límite mínimo	80
Ecuación No. 6: Límite máximo	80
Ecuación No. 7: Repetibilidad.....	81
Ecuación No. 8: Reproducibilidad.....	81
Ecuación No. 9: Incertidumbre estándar tipo A (aleatorio).....	82
Ecuación No. 10: Incertidumbre estándar tipo B (sistemático)	82
Ecuación No. 11: Incertidumbre combinada	82
Ecuación No. 12: Incertidumbre expandida	82

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizó con el propósito de implementar metodologías de análisis cuantitativos en una planta procesadora de alimentos, utilizando el equipo e instrumentos de laboratorio con el que ellos contaban. El fin de implementar las metodologías era mejorar el control de calidad de la materia prima para estandarizar el producto terminado. A la materia prima (harina de maíz) se le realizó la metodología del porcentaje de almidón mientras que al producto terminado (producto extruido tipo pellet) la metodología del porcentaje de cocción.

Las metodologías implementadas se basan en la hidrólisis del almidón por acción de la enzima amiloglucosidasa, la cual sintetiza el enlace glucosídico hasta convertirlo en dextrosa. La dextrosa es medible por medio de un analizador bioquímico que indica la concentración en g de dextrosa/ L de solución. Dicho equipo era utilizado en la planta procesadora de alimentos para la cuantificación de glucosa en el recubrimiento de cereales de desayuno extruidos. Para fines del estudio se realizó un muestreo aleatorio de cuatro lotes de producción, a cada lote se le tomaron tres muestras, dando como resultado doce muestras las cuales fueron analizadas periódicamente para obtener los resultados de porcentaje de almidón y porcentaje de cocción.

Con el fin de garantizar la veracidad de los datos obtenidos se realizó una verificación parcial donde se evaluaron los siguientes parámetros: límite de detección, precisión en términos de repetibilidad y reproducibilidad, veracidad (sesgo) e incertidumbre. Con los resultados obtenidos de los parámetros se concluyó que los datos obtenidos a partir de las metodologías implementadas para el porcentaje de almidón en harina de maíz y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet son confiables.

Asimismo se realizó un análisis de costo para verificar la viabilidad de la implementación de la metodología del porcentaje de almidón, comparando lo

con el costo de realizar dicho análisis en un laboratorio externo, dando un mejor beneficio económico ejecutarlo en el laboratorio de aseguramiento de calidad de la planta procesadora de alimentos.

1.1 Lo escrito sobre el tema

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2007) presenta una guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca donde describen la metodología para la de determinación del contenido de almidón en almidón de yuca. La metodología se basa en la dispersión del almidón en medio acuosa, seguida de una hidrólisis parcial enzimática con α -amilasa termoestable y la hidrólisis se completa utilizando la enzima amiloglucosidasa donde se obtiene glucosa. La glucosa obtenida es cuantificada por colorimetría.

Vílchez, Guevara y Encina (2012) presentan una investigación sobre la influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de con el propósito de maximizar el grado de gelatinización del almidón (cocción), variando los parámetros mencionados anteriormente. Para la determinación del porcentaje de gelatinización se utilizó un método rápido de colorimetría basado en colorar el almidón gelatinizado con yodo. Además al conocer el grado de gelatinización se pueden diseñar nuevos productos extruidos. Obtuvieron como resultado un mayor grado de gelatinización al utilizar un tamaño de partículas entre 0.17 cm – 0.20 cm, un porcentaje de humedad al 12% y una temperatura inicial de 100°C.

Shetty, Lineback y Seib (1974) comparan en su investigación cuál es la mejor manera de determinar el porcentaje de gelatinización a partir de varias metodologías que otros investigadores han desarrollado. Un gran número de procedimientos han sido descritos para medir el grado de gelatinización del almidón (cocción); estos son basados en turbidez, solubilidad, birrefringencia, absorción de colorantes, difracción de rayos X o digestión enzimática. Los métodos más sensibles y populares son los que se basados en la pérdida de birrefringencia por la gelatinización del almidón o en el aumento a la susceptibilidad por el ataque enzimático. En el análisis de alimentos es difícil aplicar el método por birrefringencia debido a que los gránulos de almidón son

difíciles de contar en mezclas heterogéneas y el almidón no puede ser separado fácilmente de otros componentes de alimentos ya cocinados.

Por lo tanto, nuevos investigadores han utilizado la digestión enzimática del almidón gelatinizado, las muestras son digeridas por enzimas como la α -amilasa, la β -amilasa y la glucoamilasa; donde el grado de gelatinización es determinada por el poder reductor del producto de la digestión: el procedimiento involucra la digestión selectiva del almidón gelatinizado por glucoamilasa (α – 1,4 –glucano glucohidrolasa) seguida de la determinación de dextrosa liberada por medio de la enzima D-glucosa oxidasa.

1.2 Resumen crítico del marco teórico

1.2.1 Uso de harina de maíz

Los cereales contienen en su mayoría almidón. El almidón provee la estructura y textura a los alimentos extruidos. Los cereales comúnmente utilizados para la elaboración de productos extruidos son maíz, trigo, arroz y avena. El maíz es el cereal más utilizado; es el principal ingrediente para la fabricación de productos extruidos, llamados collets (horneados y fritos), aros de cebolla y productos extruidos preformados, conocidos como en la industria como pellets. Es utilizado por su bajo costo y su buena expansión incluso en los extrusores más simples.

En muchas ocasiones se utiliza preferentemente el maíz desgerminado porque se expande mejor que un el maíz completo, esto se debe a que el contenido de aceite es mucho menor que el del maíz completo. Además la harina de maíz es utilizado en un amplio rango de granulometría, desde grits (210 μm) hasta finas harinas (450 μm). La selección de la granulometría está basada en el tipo de extrusor a utilizar. (Frame, 1994)

1.2.2 Definición de pellet

Se encuentran en el grupo de productos expandidos indirectamente; son llamados la tercera generación de snacks y semi-productos. Los productos que se encuentran en esta categoría tienen en común que no son expandidos directamente al salir del molde del extrusor, en cambio hay etapas de proceso adicionales que contribuyen a la apariencia y textura de un producto extruido. Los pasos de proceso adicionales incluyen generalmente freído y soplado con aire caliente, en esta etapa se remueve la humedad y se logra la textura final. Existen dos sub categorías para los productos expandidos indirectamente: pellets y FCP's por sus siglas en ingles Fabricated Chips Products (productos en forma de hojuelas preformados).

Los pellets son productos cocinados en un extrusor y forzados a través de un molde de temperaturas menores a 100°C. El molde debe de estar a bajas temperaturas para prevenir que las fuerzas de hinchamiento conviertan el agua en vapor. Una ventaja de este proceso es que se incrementa la cantidad de formas que se pueden producir, que normalmente serían destruidas en procesos de extrusión de expansión directa. Luego los pellets son secados hasta un porcentaje de humedad por debajo del 12% para que tengan estabilidad. En este estado los pellets pueden ser viajar largas distancias y ser distribuidos para pequeños productores de snacks. Por último, los pellets son inflados por freído, cubiertos con saborizante y colorantes, y empacados.

Existen muchos FCP's en el mercado, el proceso de elaboración por extrusión es similar al utilizado para la elaboración de pellets. A diferencia de los pellets, los FCP's no son secados por debajo del 12% de humedad. También son menos cocinados durante la extrusión. Después de la extrusión se lleva a cabo la el freído donde se remueve la humedad y se completa la cocción. Por lo general son cortados de tal forma que simulen la apariencia de un chip de papa o un chip de tortilla.

Los pellets son caracterizados por tener una apariencia translúcida debido al alto grado de gelatinización del almidón. El nivel objetivo de gelatinización en los pellets esta típicamente por debajo del 90%. (Frame, 1994)

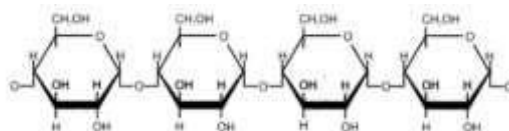
1.2.3 Almidón en harina de maíz

El almidón es el carbohidrato más importante presente en los cereales, es utilizado como reserva energética y se concentra en el endosperma. Se encuentra en forma de gránulos simples en el trigo, maíz, centeno, cebada y sorgo. El tamaño y la forma del granulo son específicos del grano; midiendo 20µm en el maíz. (Gil, 2010) Es el componente principal del grano de maíz, corresponde del 72-73 % del peso. El porcentaje de almidón en el endosperma del grano de maíz es 87.6 %.

Desde el punto de vista químico, el almidón es un homopolisacarido formado por una mezcla de dos polisacáridos muy similares; la amilasa y la amilopectina. El almidón contiene aproximadamente 17-27% de amilasa, y el resto de amilopectina. Algunos cereales como el maíz; tienen variedades llamadas céreas que están constituidas casi únicamente por amilopectina. La concentración de estos dos polímeros está determinada por factores genéticos de cada cereal. (Badui, 2006)

La amilosa y la amilopectina son polímeros de $\alpha - D - glucopiranososa$. Se trata de homopolisacarido de la clase denominada glucanos, polímeros de glucosa. Los polímeros difieren únicamente en el tipo de enlace entre los residuos de glucosa. La amilosa posee las características de un polímero lineal que esta enlazado por uniones $\alpha - D(1 \rightarrow 4) - glucosídico$ entre los residuos de glucosa adyacente. En la Imagen No.1 se puede observar la estructura de la amilosa.

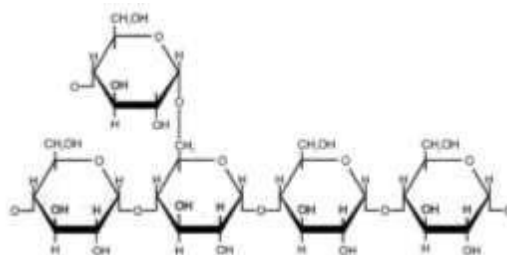
Imagen No.1: Estructura amilosa



Fuente: Melo y Cuamatz (2007)

Mientras que la amilopectina es un polímero de elevado peso molecular al estar altamente ramificado; contiene aproximadamente un 5-6% de uniones $\alpha - D(1 \rightarrow 6) - glucosídico$ en los puntos de ramificaciones. En la imagen No.2 se puede observar la estructura. (Gil, 2010)

Imagen No. 2: Estructura amilopectina



Fuente: Melo y Cuamatz (2007)

El almidón es el mayor componente en muchos productos alimenticios, siendo la fuente de energía más importante suministrado por alimentos. Los gránulos de almidón contienen amilasa y amilopectina, que están unidos entre sí por puentes de hidrogeno. El tipo de entrecruzamiento y el grado de polimerización determina las características entre los diferentes tipos de almidones que existen. Estos factores dictan, entre otras propiedades, el poder de hinchamiento y la temperatura de gelatinización, propiedades que son de gran importancia en la industria de alimentos. La amilosa consiste en una cadena lineal de 500 o más $\alpha - 1,4 - \text{unión glucosídico}$. Por el contrario, la amilopectina es ramificada. Las ramificaciones ocurren en un intervalo de 20 glucosas y son formados por enlaces $\alpha - 1,6$. El tipo de almidones de maíz llamados cerios consiste casi 100% de amilopectina. Si la amilopectina es tratada con β -amilasa, la hidrólisis se detiene en los enlaces 1,6, dando limitadas dextrinas. (Uhlig, 1998)

1.2.4 Proceso de extrusión

Singh y Heldman (2009) hacen referencia que el origen de los procesos de extrusión está asociados con la ciencia y tecnología de los polímeros. También mencionan que la aplicación de procesos de extrusión en alimentos empezó en 1930 y se ha mantenido en constante evolución en los últimos 50 años, siendo los equipos de extrusión más complejos y con mayor capacidad.

La extrusión es una operación unitaria utilizada en la industria de alimentos, la cual fuerza un alimento (trigo, maíz, arroz, papa y avena), con un porcentaje de humedad entre 20-40%, a través de un molde bajo ciertas condiciones de tiempo, temperatura, presión, mezclado, velocidad del tornillo, perfil del tornillo y velocidad de alimentación. Los productos extruidos han sido definidos como un HTST (High Temperature Short Time, por sus siglas en inglés como Alta Temperatura Corto Tiempo, por su método de preservación. (Gould, 1996)

Sharma, Mulvaney y Rizvi (2014) describen el cocimiento por extrusión, como un proceso en el cual un biopolímero de almidón o proteína se hace plástico mediante la adición de agua y se cuecen con un alto grado de corte mecánico.

Según Gould (1996) la textura de los productos extruidos es propia de los mismos; esta ante todo controlada por el contenido de humedad dejado en el producto durante el proceso de extrusión. Mientras el sabor puede ser controlado; nuevos sabores son fácilmente desarrollados utilizando sabores estables al calor y sazoadores. Los productos extruidos se encuentran en muchas formas y tamaños, dependiendo del molde y de los parámetros de operación del extrusor. La forma de los productos extruidos varía desde bolas, estrellas, óvalos, círculos, conchas, chips, flakes, y otras; siendo el único limitante la imaginación del hombre.

Un método para clasificar los productos extruidos puede ser al basarse en su esfuerzo relativo de corte y presión. Alimentos producidos a baja presión y alto esfuerzo relativo de corte son llamados collets, entre estos se encuentran los pellets, que después de ser extruidos se fríen en aceite vegetal. Mientras que los alimentos producidos a alta presión y bajo esfuerzo relativo de corte son llamados pastas. (Gould, 1996)

Un sistema de extrusión, consta de varios subcomponentes. Se inicia con una tolva que proporciona una zona de amortiguamiento a la materia prima en la entrada, de modo que el extrusor opera de manera continua. Se utiliza un tornillo de alimentación de velocidad variable para descargar material uniforme y continuamente a partir de la tolva y llevarla al extrusor. Algunas veces se utiliza un cilindro preacondicionador para mezclar con anticipación vapor y/o agua con la alimentación no elaborada. De manera ideal el tiempo en el preacondicionamiento debe ser suficiente para que cada partícula de cereal alcance el equilibrio de temperatura y humedad.

Las operaciones de calentamiento, enfriamiento, transporte, alimentación, compresión, reacción, mezcla, homogenización, fusión, cocimiento, texturización

y conformación se llevan a cabo en las distintas zonas de un extrusor. Los principales componentes de un extrusor son los siguientes:

- Zona de alimentación: en esta área se introducen materiales crudos en el cilindro del extrusor. La velocidad de alimentación total es limitada por la capacidad de los tornillos de esta sección para transportar la alimentación seca.
- Zona de amasamiento: en esta zona continua la compresión, y los tonillos del extrusor empiezan a alcanzar un mayor grado de llenado conforme disminuye el paso del tornillo. La materia prima pierde su textura granular y su densidad empieza a aumentar conforme lo hace la presión en el interior del cilindro. El corte empieza a adquirir importancia conforme el tornillo se llena. Para contribuir al cocimiento se puede inyectar vapor. Esta zona es básicamente una zona de transmisión entre la materia prima particulada y el material viscoelástico homogéneo que se utilizara en la siguiente zona.
- Zona de cocimiento final: en esta área, comúnmente la temperatura y la presión aumentan de manera muy rápida debido a la presencia del molde y al paso pequeño del tornillo. La transformación final de la materia prima también ocurre aquí donde se ve afectada de manera significativa la densidad, el color y las propiedades funcionales del producto. (Sharma, et. al, 2014)

1.2.5 Efecto en el almidón por extrusión

Los cereales fueron las primeras materias primas en ser procesadas por medio de la extrusión para la producción de alimentos para humanos y animales. El principal efecto en los cereales por la extrusión es la cocción, esto se produce al gelatinizarse el almidón. En la extrusión, la gelatinización puede alcanzarse a relativamente bajos niveles de humedad. (Berk, 2013)

Como lo describe Berk (2013) el propósito de la gelatinización en cereales que contienen almidón es mejorar su digestibilidad, al ser el almidón gelatinizado

fácilmente hidrolizado por enzimas. Además otro objetivo de la gelatinización del almidón en la extrusión es crear una masa termoplástica que puede adoptar una estructura porosa al ser soplada.

De igual manera, Gould (1996) indica que la extrusión de alimentos ayuda a hacer el alimento extruido más digerible; como los gránulos de almidón son completamente quebrados y gelatinizados por la combinación de humedad, calor, presión y fuerza mecánica. Igualmente debido a las altas temperaturas utilizadas en la extrusión, muchos productos alimenticios son completamente esterilizados, cocinados y están listos para el consumo.

1.2.6 Gelatinización del almidón

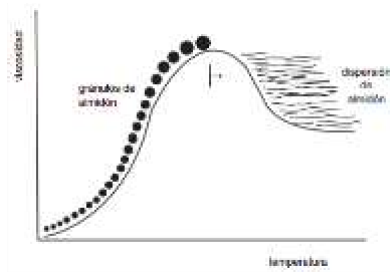
Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, debido a que su estructura está altamente organizada y presenta estabilidad por las múltiples interacciones que existen con sus dos polisacáridos constituyentes. Sin embargo, cuando se calienta empieza un proceso lento de absorción de agua en las zonas intermoleculares amorfas, que son las menos organizadas y más accesible, ya que los puentes de hidrogeno no son tan números ni rígidos como en las áreas cristalinas.

Al incrementar la temperatura se retiene más agua y el granulo empieza a hincharse aumentando su volumen. Una vez la parte amorfa está hidratada completamente, la parte cristalina inicia un proceso semejante. Pero para la hidratación de la parte cristalina se requiere más energía. Al llegar a cierta temperatura, el granulo alcanza su volumen máximo y pierde tanto su patrón de difracción de rayo X como la propiedad de birrefringencia.

Al administra más calor, el granulo se hincha incapacitado para retener el líquido, se rompe parcialmente donde la amilasa y la amilopectina que se encuentran fuertemente hidratadas se dispersan en el seno de la disolución. En este punto se pierde la estructura original y la birrefringencia del gránulo; esto va

acompañado de un aumento en la viscosidad. La gelatinización transforma los gránulos de almidón insoluble en una solución de las moléculas constituyentes en forma individual. (Badui, 2006)

Imagen No. 3: Gelatinización del almidón



Fuente: Badui (2006)

La Imagen No. 3 muestra el aumento del volumen de los gránulos contra el aumento de la viscosidad de dispersión acuosa. Una vez que los gránulos se rompen la viscosidad disminuye hasta alcanzar un valor estable donde se genera un gel cuyas características físicas y químicas son diferentes según el tipo de almidón.

Al calentar una solución de almidón, este empieza a hincharse conforme aumenta la temperatura hasta alcanzar la temperatura de gelatinización. La absorción del agua conlleva un fuerte incremento en la viscosidad y cambia la vulnerabilidad química y enzimática del almidón. Conforme el almidón gelatinizado se enfría, la fracción de amilosa se cristaliza rápidamente al formar intermolecularmente puentes de hidrogeno, este proceso es llamado como retrogradación. (Uhlig, 1998)

La temperatura de gelatinización es la temperatura a la que el almidón hidratado pierde su estructura ordenada; esta temperatura es característica para cada cereal y se produce en un intervalo de aproximadamente 10°C. La temperatura media de gelatinización para el maíz es aproximadamente de 69°C. (Badui, 2006)

La cocción producida en el almidón debido a la extrusión hace que este se transforme en todos los niveles estructurales: la estructura granular desaparece,

los cristales se funden y las moléculas grandes se despolimeriza. Esto es llamado gelatinización del almidón y se presenta al calentar almidón con exceso de agua.

1.2.7 Hidrólisis enzimática del almidón

Los carbohidratos se encuentran distribuidos ampliamente en la naturaleza, del 50 al 80% de la base seca de las plantas consiste en carbohidratos, donde se encuentran los siguientes: celulosa, pectina y almidón. Los carbohidratos poliméricos son estructuras complejas formadas por cadenas largas de azúcares simples, las cuales están constituidas principalmente por glucosa. La degradación consiste en convertir el almidón (polisacárido) en un azúcar simple por medio de la utilización de enzimas. La degradación se lleva a cabo por medio de hidrólisis enzimática.

La hidrólisis enzimática es esencial para la nutrición humana, animal e incluso de microorganismos debido a que absorben carbohidratos únicamente como azúcares en su forma hidrolizada.

Las enzimas que rompen los carbohidratos son llamadas glucosidasas, las mismas hidrolizan polisacáridos como el almidón, celulosa y pectina. La actividad de la enzima es determinada por la cantidad de azúcares libres reductores producidos por su acción. Las glucosidasas hidrolizan específicamente un enlace glucosídico de cierto residuo de monosacárido, son capaces de romper cadenas cortas de oligosacáridos como de polisacáridos.

A continuación se muestra la Tabla No. 1 que describe algunos polisacáridos naturales, con su respectiva unidad de monómero, enlace, y la enzima utilizada para su degradación. (Uhlig, 1998)

Tabla No. 1: Polisacáridos

Polisacárido	Unidad de Monómero	Enlace	Enzima
Almidón	Glucosa	$\alpha - 1,4$	α –amilasa
			β –amilasa
		$\alpha - 1,6$	Isoamilosa
Celulosa	Glucosa	$\beta - 1,4$	Celulosa
Xilano	Xilosa	$\beta - 1,3$ $\beta - 1,4$	Xilanasas
Pectina	Ácido galacturónico	$\alpha - 1,4$	Pectinasa
Inulina	Fructosa	$\beta - 1,2$	Inulinasa

Fuente: Uhlig (1998)

La especificidad de la glucosidasas depende de:

- La configuración del enlace glucosídico. Por ejemplo, maltosa puede ser hidrolizada únicamente por α –glucosidasa y no por β –glucosidasa.
- La estructura química del monosacárido unido por enlaces
- El peso molecular del sustrato. Las α –amilasa son capaces de hidrolizar amilosa de alto peso molecular rápidamente, pero las maltosas y las maltodextrinas son hidrolizadas únicamente lentamente.

La hidrólisis enzimática es por definición reversible. El equilibrio de la reacción acuosa favorece a los productos de la hidrólisis. En un sistema no acuoso, los residuos de glucosilo pueden ser transferidos a otros azúcares en lugar del agua. Esta reacción llamada transglucosilación, produce nuevos oligosacáridos.

Las amilasas separan el almidón en dextrinas y azúcares al hidrolizar el enlace glucosídico $\alpha - 1,4$. Son comunes en la naturaleza, como en la saliva, el páncreas y plantas como cereales. En la industria, las amilasas son producidas por cultivos de bacterias y hongos. Pueden ser α –amilasas o β –amilasas. Las α –amilasas separan el enlace glucosídico en el interior de la cadena de almidón. Mientras que las β –amilasas separan maltosa de las cadenas no reducidas al final de las cadenas. Adicionalmente, algunas amiloglucosidasas liberan glucosa del final de las cadenas.

Las endoamilasas hidrolizan el enlace glucosídico $\alpha - 1,4$ en el almidón, glucógeno y derivados. Depende de la fuente, las propiedades de diferentes

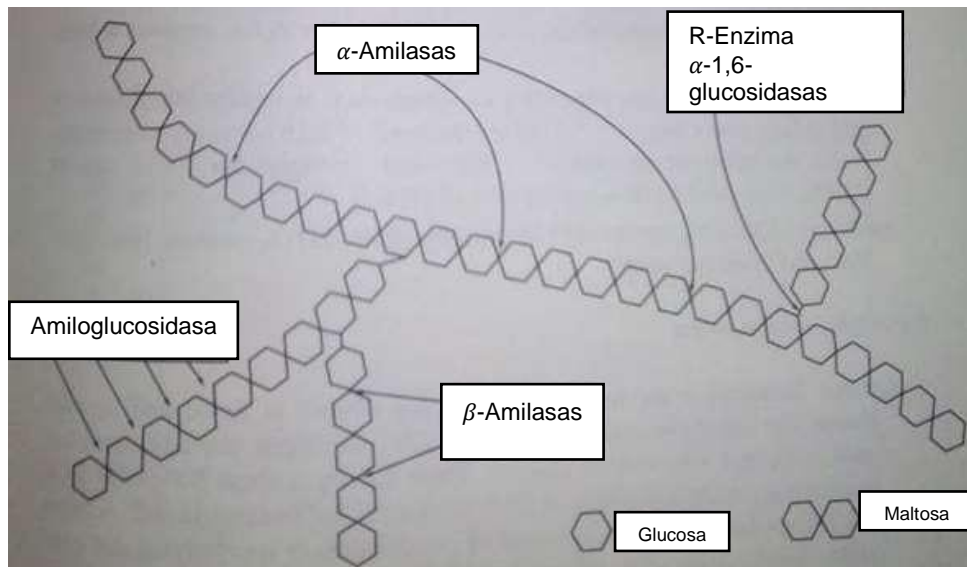
amilasas varían ampliamente. Muchas α –amilasas pueden ser producidas en forma de cristales puros, como los producidos de malta, páncreas, *Aspergillus oryzae* y *Bacillus subtilis*. Las anteriores han sido estudiadas ampliamente, sus propiedades difieren en el peso molecular, estabilidad térmica, pH óptimo y especificidad hidrolítica. (Uhlig, 1998)

Debido a su especificidad, diferentes α –amilasas producen oligosacáridos de varios largos de cadenas y rendimiento. La rápida y completa degradación del almidón requiere pre gelatinización del sustrato. Las α – amilasas bacterianas degradan almidón gelatinizado 300 veces más rápido mientras que α – amilasas fúngicas 100,000 veces más rápido que el almidón nativo.

La velocidad de hidrólisis depende primordialmente del grado de polimerización del almidón. La amilosa es hidrolizada más rápido que la amilopectina.

En la imagen No. 4 se puede observar el lugar donde las enzimas actúan sobre el almidón. Siendo la Amiloglucosidasa la que actúa en cada enlace de la punta de las cadenas. (Uhlig, 1998)

Imagen No. 4: Hidrólisis del almidón por amilasas



Fuente: Uhlig (1998)

Como lo expresan García, Quiñero y López-Munguía (2004) en la hidrólisis total del almidón por cada 100 partes en peso de almidón resultan 11 partes en peso de glucosa, esto debido a la incorporación de agua en el proceso.

1.2.8 Funcionamiento de la polarimetría

Como lo explica Pickering (1980) la polarimetría es una técnica de análisis cuantitativo que se basa en la medición de la rotación óptica producida sobre un haz de luz polarizada al pasar por una sustancia ópticamente activa. Cuando un haz de luz atraviesa un medio anisótropo, la interferencia entre los rayos electromagnéticos ordinario y extraordinario llega a la producción de radiación polarizada elípticamente, circularmente o en un plano. Existen numerosas sustancias que presentan la propiedad característica de provocar la rotación del plano de radiación polarizada, se conoce como rotario óptico. Este se debe a la asimetría estructural que se da en una sustancia que carece de plano o de centro de simetría.

1.2.9 Principio del analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

El porcentaje de almidón y el porcentaje de cocción pueden ser determinados utilizando el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT. La tecnología enzimática única de YSI proporciona la medición de dextrosa, la cual es producida por la degradación de almidón por acción de una enzima.

El analizador bioquímico YSI 2700 SELECT es un instrumento de laboratorio utilizado para investigaciones y procesos de alimentos. El equipo ofrece precisión y especificidad comparado con otros métodos lentos y rigurosos, muchas de las condiciones que interfieren con el uso de refractómetros, viscosímetros y métodos manuales son de poco cuidado al momento de utilizar este equipo. Las mediciones realizadas con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT no se ven afectadas por el color, la turbidez, la densidad, la viscosidad, el pH, la volatilidad,

la gravedad específica, la temperatura, el índice de refracción, la actividad óptica, o la presencia de proteínas u otra sustancia bioquímica.

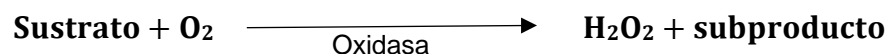
El equipo se puede configurar para que realizar mediciones de los siguientes compuestos:

- Dextrosa
- L-Lactato
- Sucrosa
- Lactosa
- Etanol
- L-glutamato
- Colina
- L-glutamina
- Metanol
- Galactosa
- Peróxido de hidrogeno

El equipo YSI 2700 SELECT ha sido diseñado para proveer flexibilidad respecto a cómo puede ser configurado. Esto permite utilizar el instrumento para otros análisis además de las configuraciones estándares mencionadas anteriormente. Esta flexibilidad también hace posible para YSI el desarrollo de nuevos análisis químicos en el futuro sin necesidad de cambios significativos en los instrumentos. (YSI, 2009)

El equipo funciona con el principio de una membrana inmovilizada. Una vez pasada la membrana de policarbonato, el sustrato se encuentra con una capa extremadamente delgada de la enzima oxidasa apropiada. Se produce la siguiente reacción:

Reacción química No. 1: Oxidación

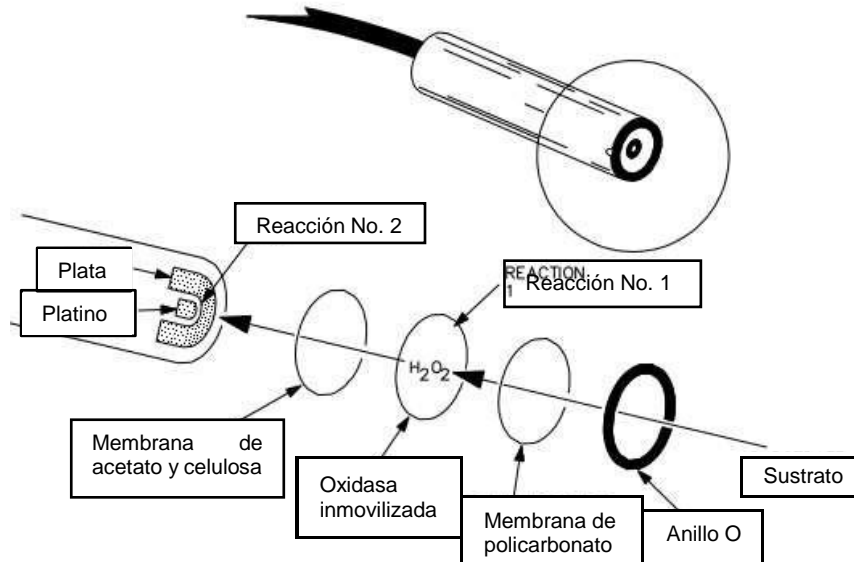


Fuente: YSI (2009)

El peróxido de hidrógeno se difunde hacia el ánodo de platino en el conjunto de la sonda. Esto da lugar a la corriente de la señal de la sonda.

Cada sonda está equipada por 3 capas de membranas que en medio contiene la enzima inmovilizada. En la Imagen No.5 muestra una vista en despiece de la membrana y su relación con la superficie de la sonda. (YSI, 2009)

Imagen No. 5: Prueba de sensores y membrana enzimática



Fuente: YSI (2009)

Un sustrato, como la dextrosa, entra en la cámara de muestra, se agita y se diluye. El sustrato se difunde a través de membrana delgada de policarbonato. La velocidad de la reacción química que se muestra a continuación está limitado principalmente por difusión. Esto se traduce en una mejora de la linealidad, la estabilidad de la calibración y la ausencia de errores de inhibición de la enzima.

La superficie de la sonda, cubierta por la membrana, está situada en una cámara dentro de la cual la muestra es inyectada. Algunos de los sustratos son difundidos a través de la membrana. Cuando la muestra entra en contacto con la enzima oxidasa inmovilizada, es rápidamente oxidada, produciendo peróxido de hidrogeno. La Reacción No. 2 lo muestra la oxidación de dextrosa a peróxido de hidrogeno.

El peróxido de hidrogeno (H_2O_2) oxida en el ánodo de platino, produciendo electrones (Ver Reacción No. 3). Un equilibrio dinámico es alcanzado cuando el flujo de producción de H_2O_2 y el flujo al que el H_2O_2 sale de la capa de enzima inmovilizada son constantes. El flujo de electrones es linealmente proporcional

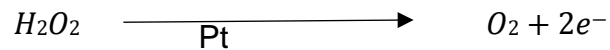
al estado estable de la concentración de H_2O_2 , por lo tanto, a la concentración de glucosa. (YSI, 2009)

Reacción química No.2: Oxidación de dextrosa



Fuente: YSI (2009)

Reacción química No. 3: Oxidación del peróxido de hidrogeno



Fuente: YSI (2009)

El electrodo de platino es retenido a un potencial anódico y es capaz de oxidar muchas sustancias además del Peróxido de hidrogeno (H_2O_2). Para prevenir estos agentes reductores en el sensor de corriente, la membrana contiene una capa interna que consiste en una fina película de acetato de celulosa. Esta película permite fácilmente el paso del H_2O_2 , pero excluye compuestos químicos con pesos moleculares por encima de aproximadamente 200 g/mol.

La película de acetato de celulosa también protege la superficie de platino de proteínas, detergentes y otras sustancias que podrían ensuciarla. Sin embargo, la película de acetato de celulosa puede ser penetrada por compuestos tales como sulfuro de hidrógeno, mercaptanos de bajo peso molecular, hidroxilaminas, hidrazinas, fenoles y anilinas.

La tecnología de sensor de enzima de YSI emplea una o más reacciones catalizadas por enzimas para producir en última instancia, el peróxido de hidrógeno. El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) se oxida electroquímicamente en el ánodo de platino de una sonda electroquímica. Esto produce una corriente de la señal de la sonda.

En muchos procedimientos que utilizan enzimas, la enzima se desecha con la

muestra después de que se haga el análisis. La tecnología de YSI permite la

conservación de la enzima mediante la inmovilización en una estructura de membrana.

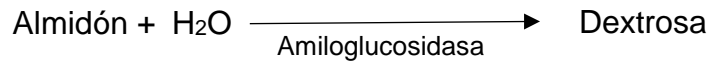
La membrana enzimática se acopla con una sonda electroquímica y se encuentra alojada en una cámara de muestras, donde entra la muestra. La vida de la membrana de la enzima se mide en días o semanas, y no depende del número de muestras analizadas. Si se usa con frecuencia, puede medir cientos de muestras con una sola membrana enzimática antes de que se vea disminuida su función. (YSI, 2009)

En enzimología, los términos sustrato y producto se utilizan comúnmente para describir una reacción. Una enzima es una molécula de proteína con gran especificidad para catalizar la conversión de uno o más sustratos a uno o más productos. En la tecnología YSI, una enzima oxidasa siempre está involucrada, como un producto de la reacción catalizada por la oxidasa es peróxido de hidrógeno. Se requiere peróxido de hidrógeno para producir una corriente de señal significativa en la sonda electroquímica. (YSI, 2009)

1.2.10 Determinación del porcentaje de almidón con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

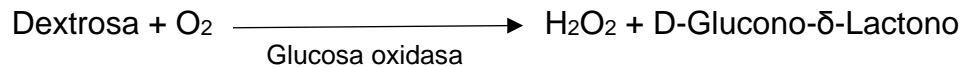
Se lleva a cabo una lectura indirecta de almidón al medir la dextrosa liberada de la hidrólisis del almidón. Para utilizar la metodología descrita la muestra debe de estar libre de dextrosa. Primero, el almidón solubilizado es hidrolizado externamente por la enzima amiloglucosidasa para producir dextrosa. La dextrosa es leída en el sensor de enzima. La enzima glucosa oxidasa es inmovilizada en la YSI membrana de dextrosa. Se llevan a cabo las siguientes reacciones:

Reacción química No.4: Hidrólisis enzimática



Fuente: YSI (2009)

Reacción química No.5: Oxidación de dextrosa



Fuente: YSI (2009)

1.2.11 Determinación del porcentaje de cocción con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

El porcentaje de cocción en productos extruidos puede ser determinado usando el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT. La tecnología enzimática única de YSI proporciona la medición de dextrosa. La medición no se ve afectada por color, turbidez, densidad, pH o la presencia de una sustancia reductora.

Para la determinación del porcentaje de cocción una porción de la muestra es solubilizada en agua a temperatura ambiente (23 °C) mientras otra porción es sometida a un proceso térmico en autoclave. Luego, las muestras son tratadas idénticamente con la enzima amiloglucosidasa. La dextrosa producida de esta reacción es medida por el Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT. La relación de dextrosa en la muestra solubilizada en agua con la muestra sometida proceso térmico indica el porcentaje de cocción del producto extruido.

Cuando la muestra es inyectada a cámara de muestra, la dextrosa se difunde en la membrana que contiene glucosa oxidasa. La dextrosa es inmediatamente oxidada a peróxido de hidrogeno (H_2O_2) y a D-Glucono- δ -Lactone, como se observa en la Reacción química No.5. El peróxido de hidrogeno (H_2O_2) medido

por medio de amperios en la superficie del electrodo de platino. El flujo de corriente en el electrodo es directamente proporcional a la concentración de peróxido de hidrogeno (H₂O₂), por lo tanto a la concentración de dextrosa. (YSI, 2009)

1.2.12 Fórmula para determinar el porcentaje de almidón en harina de maíz y producto extruido tipo pellet

Para determinar el porcentaje de almidón en harina de maíz y producto extruido tipo pellet se utilizó la siguiente formula:

Ecuación No. 1: Porcentaje de almidón total

$$\% \text{ Almidón total} = \frac{0.9 (LDT - LB)}{PBS * V}$$

*Como 1.1 g de dextrosa son liberados cuando 1.0 g de almidón son hidrolizados, la concentración de dextrosa de las muestras deben ser multiplicadas por un factor de 0.9. (YSI, 2009)

LDT= lectura de dextrosa en el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT
LB= lectura del blanco en el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT
PBS= peso de la muestra en base seca
V= volumen total de la dilución de la muestra

1.2.13 Fórmula para determinar el porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Para determinar el porcentaje de cocción del producto extruido tipo pellet se debe de determinar el porcentaje de almidón que se gelatinizó durante el proceso de extrusión, se realiza de la misma manera a la Formula No. 1. Únicamente cambia el LDT (lectura de dextrosa total) por LDG (lectura de dextrosa gelatinizada). La fórmula es la siguiente:

Ecuación No. 2: Porcentaje de almidón gelatinizado

$$\% \text{ Almidón Gelatinizado} = \frac{0.9 (LDG - LB)}{PBS * V}$$

LDG= lectura de dextrosa en el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT
LB= lectura del blanco en el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT
PBS= peso de la muestra en base seca
V= volumen total de la dilución de la muestra

Al tener el Porcentaje de Almidón total y el Porcentaje de almidón gelatinizado se aplica la siguiente fórmula:

Ecuación No. 3: Porcentaje de cocción

$$\% \text{ Porcentaje de Cocción} = \frac{\text{Porcentaje de almidón gelatinizado}}{\text{Porcentaje de almidón total}}$$

Donde la relación almidón gelatinizado y almidón total de la muestra da como resultado el porcentaje de cocción.

1.2.14 Pruebas estadísticas

- ANOVA

Es usual que los laboratorios analíticos utilicen la comparación de diversos conjuntos de resultados. Esto cuando comparan entre sí diversos métodos con distintas características, o con un método de referencia, o cuando la comparación se realiza entre varios analistas o laboratorios que analizan una muestra con el mismo método. El análisis de varianza, llamado por sus siglas en inglés ANOVA, es uno de los métodos más utilizados que permite la comparación de las medias aritméticas de diversos conjuntos de resultados. (Valcárcel y Rios, 1992)

Para poder aplicar ANOVA a un conjunto de resultados es necesario cumplir las siguientes hipótesis:

1. Cada conjunto de datos es independiente de los demás.
2. Los resultados obtenidos para cada conjunto siguen una distribución normal.

3. La varianza de cada conjunto de datos no difieren de forma significativamente de las demás.

El objetivo del análisis de varianza consiste en la comparación de las distintas medias aritméticas X_i ($i= 1, 2, \dots, k$) con el fin de determinar si alguna de ellas difiere significativamente de las demás. (Valcárcel y Ríos, 1992)

- t- Student

La t-student es una distribución de variable continua generada de la distribución normal, de mucha utilidad por sus diversas aplicaciones en la práctica. Es utilizada debido a que en la mayoría de los casos prácticos el valor de la varianza poblacional (σ) es desconocido. Por lo que se sustituye la σ por la desviación estándar de la muestra (S). Se utiliza cuando el tamaño de la muestra es menor a 30. (Barrientos, 1986)

Propiedades de distribución t-student:

1. La curva t tiene forma de campana concentro 0 y es más dispersa que la curva normal estándar.
2. A medida que K aumenta la dispersión de la curva t correspondiente disminuye.
3. A medida que $K \rightarrow infinito$ la secuencia de la curva t se aproxima a la curva normal estándar.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las plantas procesadoras de alimentos los productos deben elaborarse bajo estándares y parámetros de calidad. Para verificar el cumplimiento se realizan análisis de laboratorio internos, si no se cuenta con la metodología implementada se contrata un laboratorio externo acreditado para que los realice.

Actualmente la planta procesadora de alimentos donde se realizó el trabajo de investigación no cuenta con las metodologías para determinar el porcentaje de almidón en harina y el porcentaje de cocción en producto extruidos tipo pellet. Por lo cual, si desean realizar el análisis deben enviar una muestra a un laboratorio en el extranjero, lo cual genera un elevado costo y tiempo.

Debido a lo anterior, surge la necesidad de implementar la metodología del porcentaje de almidón en harina utilizada para la elaboración de productos extruidos tipo pellet ya que el almidón es el polisacárido encargado de darle la estructura porosa característica a los productos extruidos. (Berk, 2013) Sí el contenido de almidón no se estandariza en la materia prima, el producto terminado tendrá variaciones debido a que está relacionado directamente con el índice de expansión. De igual manera es importante tomar en cuenta el parámetro de porcentaje de cocción requerido en el producto extruido, ya que si no se cumple dicho parámetro y el producto final no obtiene una cocción completa se pueden ver afectadas sus características de palatabilidad, digestibilidad y una disminución en su vida de anaquel. El porcentaje de cocción también se encuentra relacionado con el volumen final y densidad aparente del producto, por lo cual al especificar y estandarizar este parámetro, se podrán reducir las variaciones de peso existentes durante el proceso de llenado del producto terminado.

¿Es posible implementar metodologías para la determinación del porcentaje de almidón y porcentaje de cocción en productos elaborados a base de granos de maíz con los instrumentos disponibles en la planta procesadora de alimentos, con resultados estadísticamente confiables?

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo general

Implementar metodologías de análisis para la determinación del porcentaje de almidón en harina y el porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet, elaborados a partir de granos de maíz por una planta productora de alimentos.

2.1.2 Objetivos específicos

1. Determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz y el valor de referencia.
2. Realizar una verificación parcial de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz por medio de los parámetros exactitud, precisión, incertidumbre y límite de detección.
3. Definir un rango de aprobación con límite mínimo y límite máximo a partir de los datos obtenidos para el porcentaje de almidón en harina de maíz para estandarizar la materia prima.
4. Determinar si existe diferencia estadísticamente significativa entre la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet y el valor teórico.
5. Realizar una verificación parcial de la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet por medio de los parámetros exactitud, precisión, incertidumbre y límite de detección.
6. Definir un rango de aprobación con límite mínimo y límite máximo a partir de los datos obtenidos para el porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet para estandarizar el producto terminado.
7. Establecer a partir de los equipos de medición con que cuenta el laboratorio de aseguramiento de calidad de la planta procesadora de alimentos cual es el más efectivo para la implementación de las metodologías.

8. Comparar el costo del análisis del porcentaje de almidón realizado por un laboratorio externo y la metodología a implementar.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis nula (H_0)

- a) No existe diferencia significativa entre los valores obtenidos del porcentaje de almidón en harina de maíz y el resultado del laboratorio externo (valor de referencia) con un 99.5% de confianza.
- b) No existe diferencia significativa entre los valores obtenidos del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet y el valor teórico con un 99.5% de confianza.

2.2.2 Hipótesis alternativa (H_a)

- a) Existe diferencia significativa entre los valores obtenidos del porcentaje de almidón en harina de maíz y el resultado del laboratorio externo (valor de referencia) con un 99.5% de confianza.
- b) Existe diferencia significativa entre los valores obtenidos del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet y el valor teórico con un 99.5% de confianza.

2.3 Variables

2.3.1 Variables independientes

- Tiempo en la autoclave
- Tiempo en el baño María
- Tiempo de cernido
- Temperatura en la autoclave
- Temperatura en el baño María

2.3.2 Variables dependientes

- Porcentaje de almidón
- Porcentaje de cocción

2.4 Definición de las variables

2.4.1 Variables independientes

– Tiempo en la autoclave

- Definición conceptual: tiempo: m. Magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro, y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo. (RAE, 2016)

Autoclave: m. o f. Aparato que sirve para esterilizar objetos o sustancias situados en su interior, por medios diferentes, como vapor, temperatura o radiación. (RAE, 2016)

- Definición operacional: tiempo durante el cual el almidón es sometido a un tratamiento térmico para alcanzar un grado de gelatinización.

– Tiempo en el baño María

- Definición conceptual: tiempo: m. Magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro, y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo. (RAE, 2016)

Baño María: m. Procedimiento mediante el cual se calienta el contenido de un recipiente colocándolo dentro de otro que contiene agua hirviendo. (RAE, 2016)

- Definición operacional: tiempo durante el cual el almidón es sometido a un tratamiento térmico con el fin de promover la hidrólisis a dextrosa por acción de la enzima amiloglucosidasa.

- Tiempo de cernido
 - Definición Conceptual: tiempo; m. Magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro, y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo. (RAE, 2016)
Cernido: m. Acción de cerner. Cerner: tr. Separar con el cedazo la harina del salvado, cualquier otra materia deducida a polvo, de suerte que lo más grueso se quede sobre la tela, y lo sutil caiga al sitio destinado para recogerlo. (RAE, 2016)
 - Definición operacional: tiempo establecido para separar por granulometría la harina.

- Temperatura en la autoclave:
 - Definición conceptual: temperatura; f. Magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K).
Autoclave; m. o f. Aparato que sirve para esterilizar objetos o sustancias situados en su interior, por medios diferentes, como vapor, temperatura o radiación. (RAE, 2016)
 - Definición operacional: temperatura a la que el almidón es sometido a un tratamiento térmico para alcanzar un grado de gelatinización.

- Temperatura en el baño María:
 - Definición conceptual: tiempo: m. Magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro, y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo. (RAE, 2016)
Baño María: m. Procedimiento mediante el cual se calienta el contenido de un recipiente colocándolo dentro de otro que contiene agua hirviendo. (RAE, 2016)

- Definición operacional: tiempo durante el cual el almidón es sometido a un tratamiento térmico con el fin de promover la hidrólisis a dextrosa por acción de la enzima amiloglucosidasa.

2.4.2 Variables dependientes

- Porcentaje de almidón:
 - Definición conceptual: porcentaje; m. Proporción que toma como referencia el número 100.
Almidón; m. Hidrato de carbono que constituye la principal reserva energética de casi todos los vegetales y tiene usos alimenticios e industriales. (RAE, 2016)
 - Definición operacional: contenido de almidón en harina de maíz.
- Porcentaje de cocción:
 - Definición conceptual: porcentaje; m. Proporción que toma como referencia el número 100.
Cocción; f. Acción y efecto de cocer o cocerse. (RAE, 2016)
 - Definición operacional: grado de gelatinización del almidón en alimentos extruidos por efecto del proceso de extrusión.

2.5 Alcances y limitaciones

2.5.1 Alcances

Se plantean metodologías para la determinación del porcentaje de almidón en harina y el porcentaje de cocción en productos extruidos tipo pellet. Se analizó el porcentaje de almidón en la harina de maíz utilizada como materia prima para la elaboración de producto extruido tipo pellet, y el porcentaje de cocción se realizó en producto extruido tipo pellet.

Dentro de una planta procesadora de alimentos es necesario implementar la metodología de porcentaje de almidón porque el almidón proporciona la estructura a los productos extruidos, además tiene propiedades de interés para otras industrias de alimentos. La metodología del porcentaje de cocción es necesario implementarla en la industria de alimentos debido a que indica la digestibilidad de un producto.

Se tomó como periodo de estudio cuatro lotes de producción de harina de maíz y cuatro lotes de producto extruido tipo pellet, de cada lote de producción se tomaron tres muestras aleatorias.

Se realizó una prueba de significancia, t- student para identificar errores sistemáticos (sesgo). La cual permite comparar un valor de referencia con una serie de datos .Se realizó el análisis del porcentaje de almidón en un laboratorio externo para realizar una comparación con el resultado obtenido por la metodología propuesta. Si el valor de t obtenido es menor al valor crítico de t entonces no existe diferencia significativa y el método está validado. Por otro lado, sí el valor de t es mayor que el valor crítico de t, la diferencia es significativa y el método no podrá ser validado. Luego, con los datos de porcentaje de almidón en harina de maíz y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet se estableció un rango de aprobación con límite mínimo y límite máximo que se puede considerar un rango de calidad.

2.5.2 Limitaciones

Actualmente, no existen en Guatemala laboratorios donde se pueda realizar el análisis del porcentaje de almidón en alimentos, por lo que se envió una muestra de harina de maíz a un laboratorio en Estados Unidos. Además por su elevado costo únicamente se envió una muestra de cada producto para que fuera analizada, este resultado obtenido se estableció como valor de referencia.

El análisis del porcentaje de cocción en alimentos extruidos no es realizado en ningún laboratorio en Guatemala, en este caso no se encontró un laboratorio fuera del país que lo realice.

En Guatemala, no existe distribuidor de reactivos para laboratorio que mantenga la enzima amiloglucosidasa en inventario, por lo que el tiempo de entrega fue de casi 2 meses después de haber realizado la compra.

El tiempo de realización de ambas metodologías es de aproximadamente 8 horas, de las cuales más del 90% son utilizadas en la preparación de la muestra. El tiempo que requiere el equipo para realizar la lectura de la muestra es de aproximadamente 1 minuto.

Otra limitante para la implementación de las metodologías en la planta procesadora de alimentos es la capacidad del equipo baño María, que tienen actualmente en uso, siendo la capacidad máxima 8 muestras por corrida.

2.6 Aporte

El presente trabajo de graduación puede ser utilizado como marco de referencia para la industria de alimentos extruidos que deseen establecer parámetros de calidad de estructura, apariencia y textura. Con la metodología del porcentaje de almidón se determina el contenido del mismo en harinas de maíz, frijol, trigo entre otros; este dato permite predecir la estructura del alimento extruido. Mientras la metodología del porcentaje de cocción permite asegurar la digestibilidad de un producto elaborado por extrusión, además aporta información para el diseño de un producto relacionando las características de volumen y densidad aparente.

En Guatemala existen varias empresas que se dedican a la elaboración de alimentos extruidos, las cuales se pueden beneficiar con el uso de estas metodologías en sus procesos de investigación y desarrollo, y sus laboratorios de aseguramiento de la calidad.

La planta procesadora de alimentos donde se desarrolló el presente trabajo de graduación se vio favorecida al implementar la metodología del porcentaje de almidón, debido a que podrán predecir el comportamiento de sus productos desde la materia prima. De igual forma al implementar la metodología del porcentaje de cocción podrán determinar el volumen y la densidad aparente del producto terminado, evitando problemas en el empaque.

Los futuros estudiantes de ingeniería en alimentos y carreras afines, pueden utilizar el presente trabajo de graduación como guía para la implementación metodologías de análisis, tomando en cuenta que es necesario validar o verificar la veracidad de los datos obtenidos.

III. MÉTODO

3.1 Sujetos y unidades de análisis

Para la realización del presente trabajo de graduación se obtuvo información de distintas fuentes las cuales se describen a continuación.

3.1.1 Sujetos

Se contó con el apoyo de personas con experiencia en el campo de estudio:

- Lic. Dina Marta Dubón Najera, coordinadora del Laboratorio de Bromatología de una planta procesadora de alimentos extruidos para el consumo animal, quien brindo asistencia técnica.
- Ing. José Estuardo Padilla Nishtal, catedrático en la Universidad Rafael Landívar, quien brindo asesoría en el área estadística.

3.1.2 Unidades de Análisis

- Harina de maíz

Producto obtenido a partir de la molienda de granos de maíz, es utilizada en la planta procesadora de alimentos como materia prima para la elaboración de producto extruido tipo pellet.

- Producto extruido tipo pellet

Producto elaborado a partir de harina de maíz, el cual después de pasar por un proceso de extrusión se debe de freír para que sea apto para el consumo humano.

- COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas)

Norma (COGUANOR) NGO34086 h8 Harina de Origen Vegetal: Determinación del Contenido de Almidón (1985).

- YSI

En el manual de usuario del Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT Nota de Aplicación No. 319: Determinación del Porcentaje de Cocción en Productos de Cereales Extruidos.

- Instituto de Salud Pública de Chile





Validación de Métodos y Determinación de la Incertidumbre de la Medición: Aspectos Generales Sobre la Validación de Métodos. Se utilizó como guía para la determinación del sesgo por medio de la prueba de t- student.






3.1.3 Equipo



A continuación se presentan una descripción del equipo utilizado para el desarrollo de las metodologías de porcentaje de almidón en harina y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.

Tabla No. 2: Equipo

Equipo	Imagen	Descripción	Uso
Horno		Marca: Dynamica Capacidad: 58 L Fuente de poder: 115V Rango de temperatura: +10 °C a 250 °C Incertidumbre: ±0.5 °C	Determinación del porcentaje de humedad
Desecadora		Marca: Belart	Determinación del porcentaje de humedad

Equipo	Imagen	Descripción	Uso
Molino		Marca: Foss Serie: 91772717 Fuente de poder: 230 V AC	Molienda producto extruido tipo pellet
Balanza analítica		Marca: Mettler Toledo Serie: AG204 Capacidad máxima: 210 g D 0.1 mg Fuente de poder: 9.5 -17 V Incertidumbre: ± 0.00005 g	Pesajes de muestras y reactivos
Autoclave		Marca: Ta Chang Modelo: TC – 459 Fuente de poder: 220 V	Gelatinización completa del almidón
Baño María		Marca: VWR Modelo: 1225 Serie No.: 0401802 Capacidad: 6 ft Rango de temperatura: 5 °C a 100 °C Fuente de poder: 220 V Incertidumbre: 0.005 °C	Hidrólisis enzimática del almidón

Equipo	Imagen	Descripción	Uso
Centrifugadora		Marca: Serie: 156327 Velocidad: 0 a 100 rpm Tiempo: 0 a 30 min Fuente de poder: 120 V	Separación de soluciones
Analizador bioquímico		Marca: YSI Modelo: 2700 Incertidumbre: ± 0.005 g/ L dextrosa	Determinación de Dextrosa
Agitador vórtex		Marca: VWR Serie: 110630017 Fuente de poder: 115V	Aguitar solución de enzima
Tamizador		Marca: no disponible	Determinación de granulometría
Sellador térmico		Marca: no disponible Fuente de poder: 110 V	Sellar bolsas que contiene muestra





Equipo	Imagen	Descripción	Uso
Refrigerador		Marca: Fridge Modelo: FRDW073MBKW	Mantener a 2 °C los reactivos y enzima
Micro Pipetador		Marca: Transterpette Incertidumbre: $\pm 0.1 \mu\text{L}$	Mediciones en μL

Fuente. Elaboración propia (2017)

3.1.4 Instrumentos y Cristalería

A continuación se presentan los instrumentos y la cristalería utilizada para el desarrollo de las metodologías de porcentaje de almidón en harina y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.

Tabla No. 3: Instrumentos y cristalería

Instrumento/ cristalería	Imagen	Uso
<p>Torre de tamices Se utilizaron: tamiz No. 35 (500 μm) tamiz No. 40 (450 μm) tamiz No. 60 (250 μm) tamiz No. 70 (210 μm)</p>		<p>Separar harinas según su granulometría</p>
<p>Erlenmeyer</p>		<p>Instrumento de laboratorio de contención para contener soluciones</p>
<p>Probeta</p>		<p>Instrumento de laboratorio volumétrico Incertidumbre: ± 0.5 ± 2 ml</p>
<p>Pipeta</p>		<p>Instrumento de laboratorio volumétrico, puede ser graduada o volumétrica Incertidumbre: ± 0.05 ml</p>

Instrumento/ cristalería	Imagen	Uso
Piseta		Instrumento de uso específico para contener agua destilada
Balón aforado		Instrumento de laboratorio volumétrico, para la preparación de soluciones valoradas Contiene tapadera
Embudo		Instrumento de la laboratorio de uso específico para trasvasar soluciones de un recipiente a otro
Tubos centrifuga		Instrumento de la laboratorio de contención utilizados para colocar en la centrifugadora
Beaker		Instrumento de laboratorio de contención
Frascos ámbar		Instrumento de laboratorio de uso específico, que contiene soluciones para almacenarlas

Instrumento/ cristalería	Imagen	Uso
Bolsas		Utilizadas para contener muestras de harina de maíz o producto extruido tipo pellet
Bolsas de alta densidad		Utilizadas para contener muestras de harina de maíz o producto extruido tipo pellet
Espátula		Instrumento de la laboratorio de uso específico para tomar sustancias químicas, evitando que se contaminen
Tubos de ensayo		Instrumento de la laboratorio de contención utilizados para contener porciones de una solución o sustancia

Fuente. Elaboración propia (2017)

3.1.5 Materiales y Reactivos del Equipo

Para el funcionamiento del equipo Analizador bioquímico 2700 SELECT es necesario utilizar los siguientes materiales y reactivos.

Tabla No. 4: Materiales y reactivos del equipo

Material/ Reactivo	Descripción
YSI Kit membranas de dextrosa	Código de proveedor: 2365 Color anillo: rojo 4 unidades
YSI Solución estándar de dextrosa /Lactato 2.5 g/ L	Código de proveedor: 2776
YSI Estándar de linealidad de dextrosa 9.5 g/ L	Código de proveedor: 1531
YSI Buffer mixto de dextrosa y proteínas	Código de proveedor: 2357 8 unidades
Solución de Cloruro de sodio	Código de proveedor: 2392

Fuente. Elaboración propia (2017)

3.1.6 Reactivos

A continuación se describen los reactivos necesarios para el desarrollo de las metodologías de porcentaje de almidón en harina y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.

Tabla No. 5: Reactivos



Reactivo	Descripción	Uso	
Acetato de sodio	Grado reactivo	Reactivos utilizados para preparación de buffer de acetato pH 4.2	Inflamable y peligroso en general
Ácido acético glacial	Glacial		Corrosivo, peligroso para el medio ambiente y peligroso en general
Ácido tricloroacético	Grado reactivo	Preparación de solución al 33.33% p/v	Corrosivo e inflamable
Amiloglucosidasa	Marca: SIGMA Nombre: Amiloglucosidasa de <i>Aspergillus niger</i> Apariencia: polvo, blanco 120 U/ mg	Hidrólisis del almidón	N/A

Fuente. Elaboración propia (2017)

3.1.7 Equipo de seguridad

A continuación se describen los reactivos necesarios para el desarrollo de las metodologías de porcentaje de almidón en harina y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.

Tabla No. 6: Equipo de seguridad

Equipo de Seguridad	Uso	Imagen
Mascarilla	Protección de las vías respiratorias	
Lentes de protección ocular	Protección de ojos debido al uso de reactivos tóxicos/ nocivos	
Guantes	Protección de manos por uso de reactivos corrosivos,	

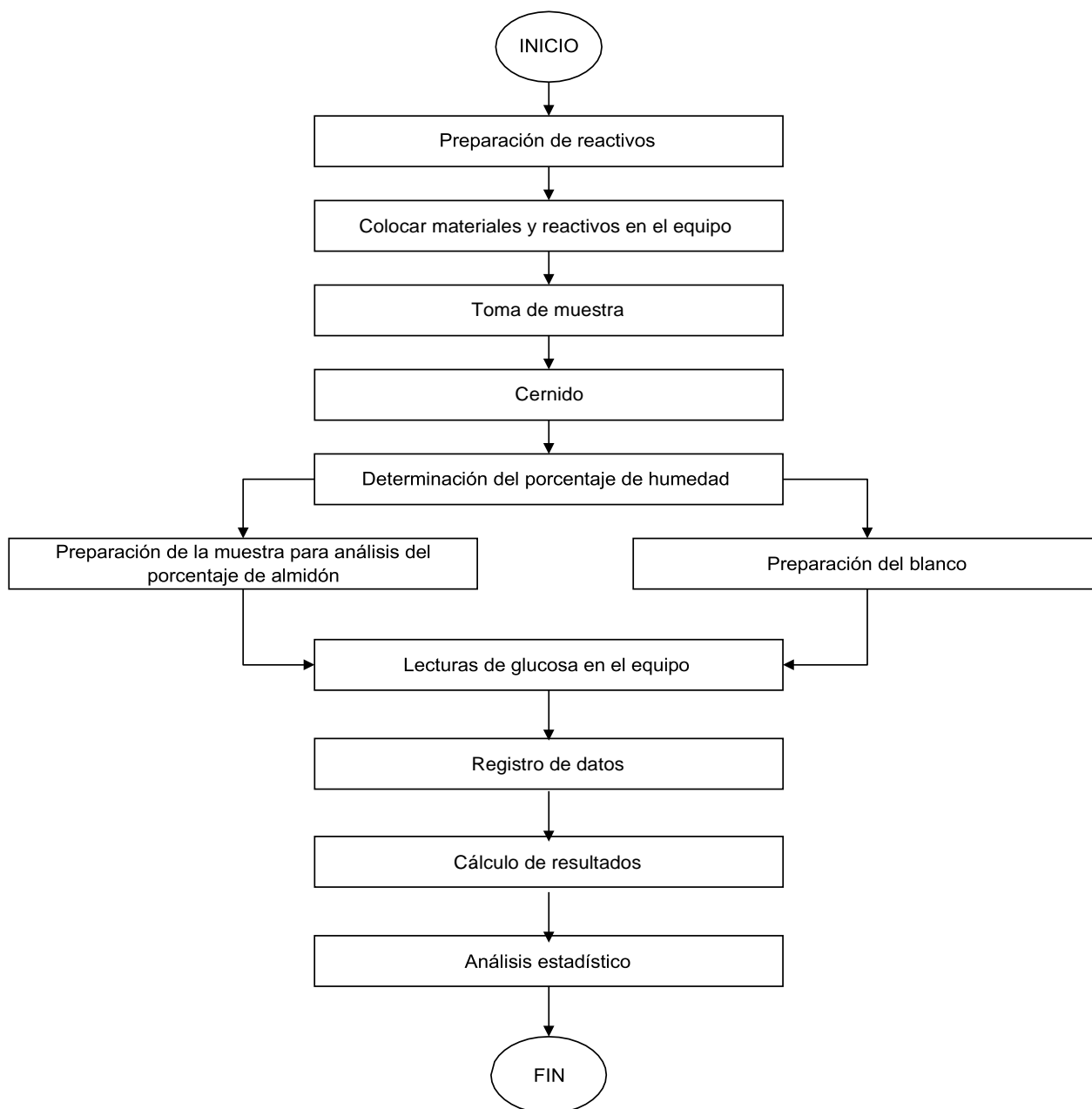
Fuente. Elaboración propia (2017)

3.2 Procedimiento

3.2.1 Procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Diagrama No. 1: Procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Diagramadora: Luisa Muñoz

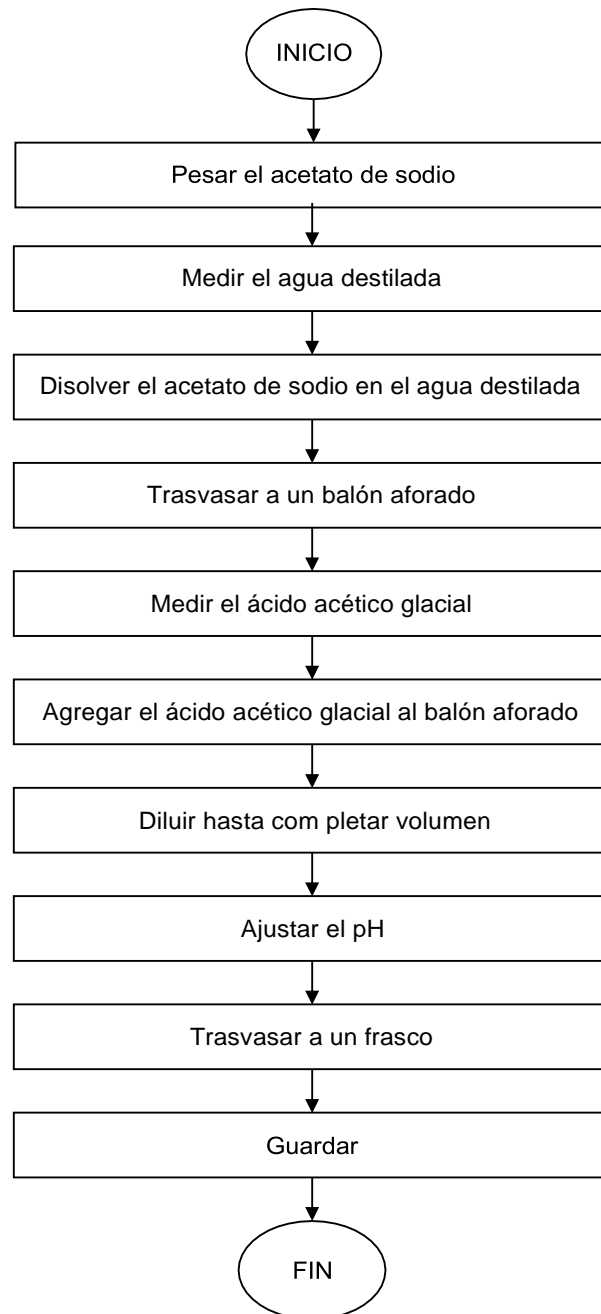


A continuación se describirán cada uno de los pasos de la metodología.

A. Preparación de reactivos.

Diagrama No. 2: Preparación de solución de acetato de buffer

Diagramadora: Luisa Muñoz

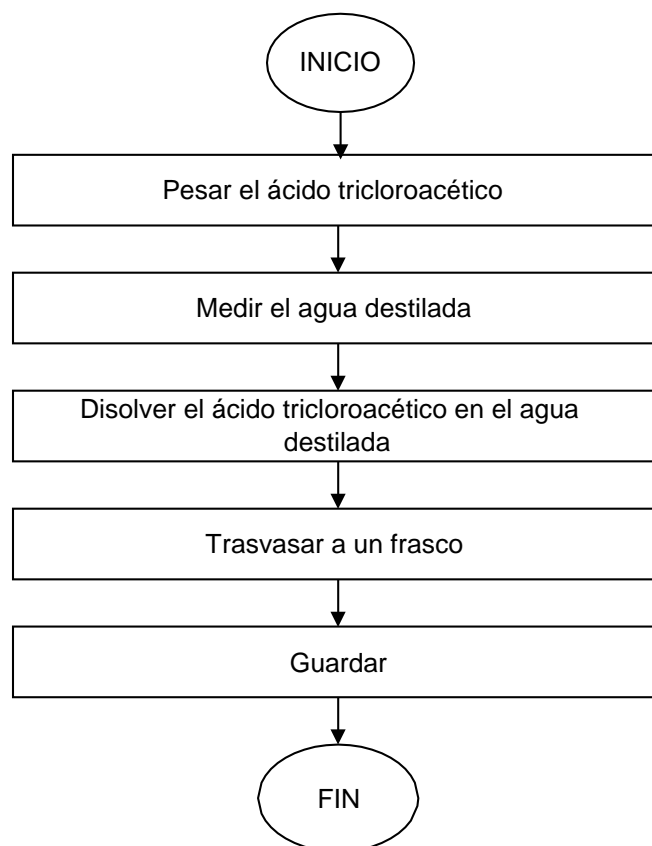


Descripción de la preparación de solución de acetato de buffer:

1. Pesar 18.2 g de acetato de sodio.
2. Medir 300 ml de agua destilada.
3. Disolver el acetato de sodio en el agua destilada en un beaker con capacidad de 500 ml.
4. Trasvasar a un balón aforado con capacidad de 1000 ml.
5. Medir 44.6 ml de ácido acético glacial.
6. Agregar el ácido acético glacial al balón aforado.
7. Diluir hasta completar volumen con agua destila.
8. Ajustar pH a 4.2 con hidróxido de sodio 2N o ácido clorhídrico 2N.
9. Trasvasar la solución a un frasco ámbar con capacidad de 1000 ml.
10. Almacenar en un lugar y condiciones adecuadas hasta que sea utilizado.

Diagrama No. 3: Preparación de solución de ácido tricloroacético

Diagramadora: Luisa Muñoz

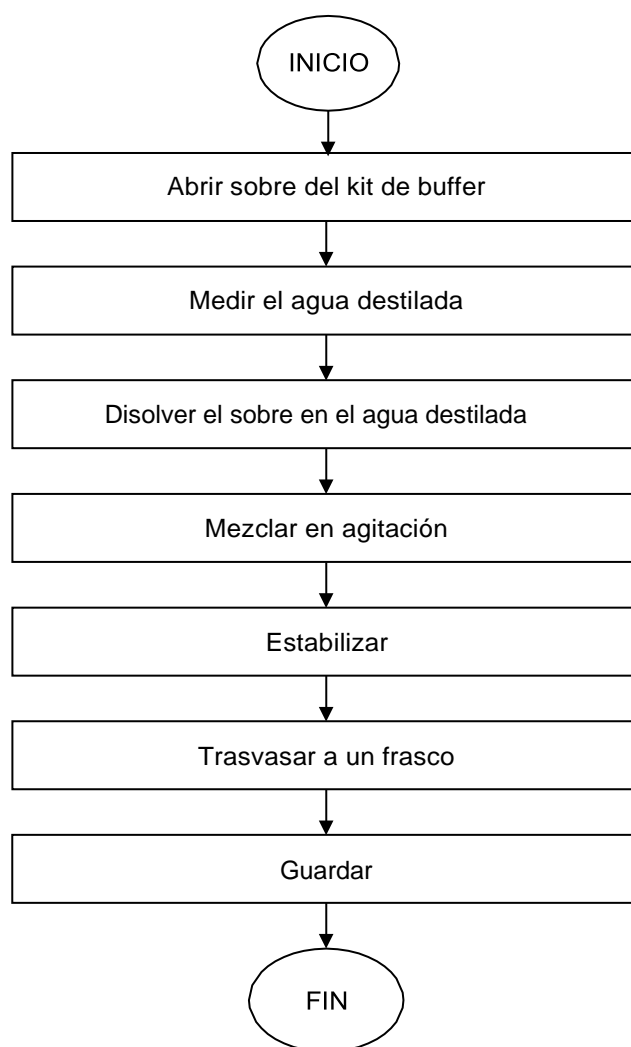


Descripción de la preparación de solución de ácido tricloroacético:

1. Pesar 333.3 g de ácido tricloroacético.
2. Medir 1000 ml de agua destilada.
3. Disolver el ácido tricloroacético en el agua destilada en un beaker con capacidad de 1000 ml.
4. Trasvasar la solución a un frasco ámbar con capacidad de 1000 ml.
5. Almacenar en un lugar y condiciones adecuadas hasta que sea utilizado.

Diagrama No. 4: Preparación de buffer del equipo

Diagramadora: Luisa Muñoz



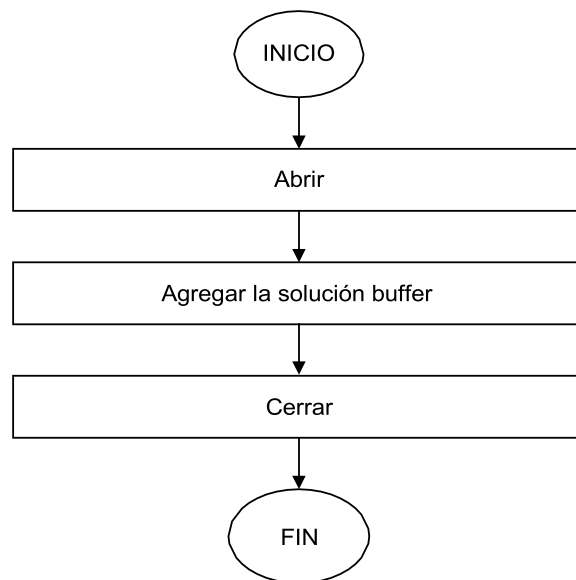
Descripción de la preparación de buffer del equipo:

1. Abrir el 1 sobre del kit de buffer No. 2357.
2. Medir 500 ml de agua destilada.
3. Disolver el sobre en el agua destilada.
4. Mezclar por 5 min en agitación, esperar 10 min a que se estabilice.
5. Trasvasar al recipiente identificado como buffer de acuerdo a la Imagen No.5.

B. Colocar reactivos y materiales en el equipo.

Diagrama No. 5: Colocación de la solución de buffer en el equipo analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

Diagramadora: Luisa Muñoz

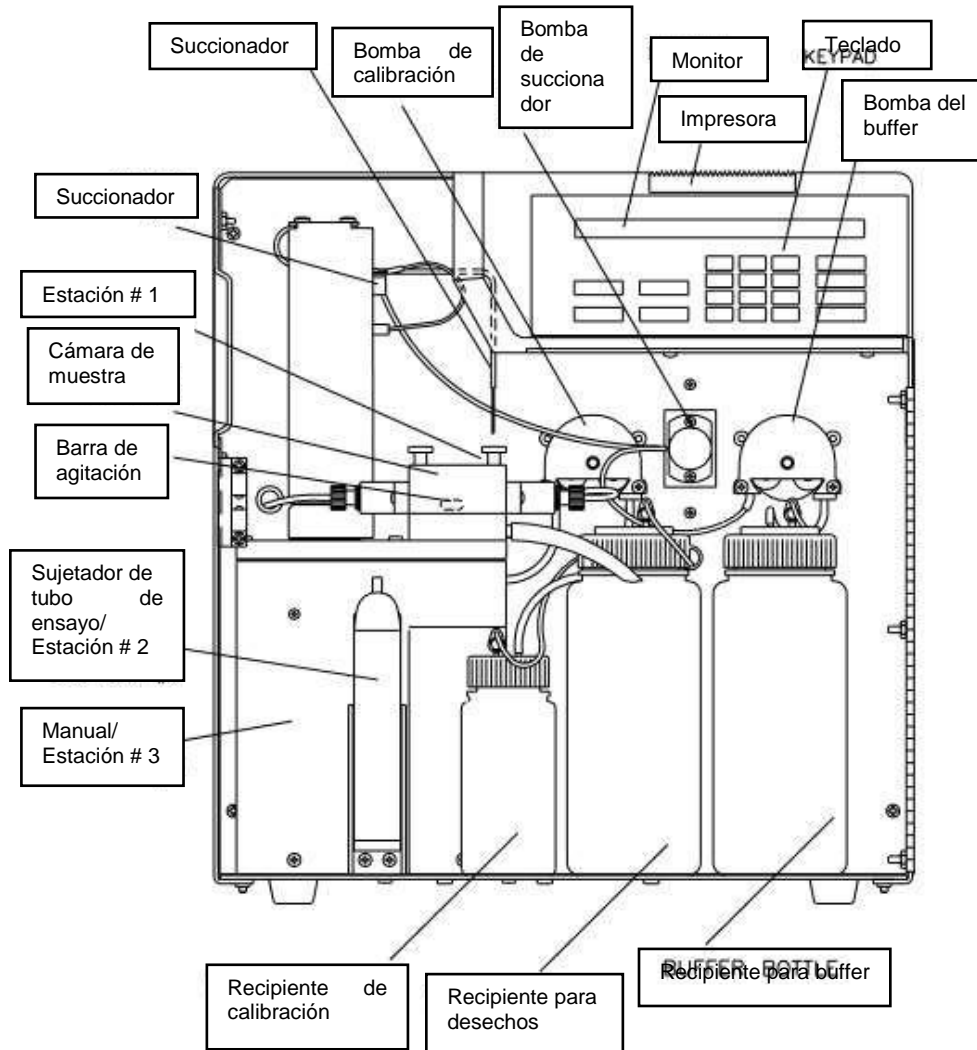


Descripción de la colocación de la solución de buffer en el equipo analizador bioquímico YSI 2700 SELECT:

1. Retirar la tapadera a la botella de solución buffer. En la Imagen No. 5 se muestra que es el tercer recipiente. Se debe tener precaución para que el cable eléctrico del sensor de nivel no entre en contacto con las paredes del equipo ni con las del recipiente.

2. Agregar la solución buffer dentro del recipiente.
3. Colocar la tapadera.

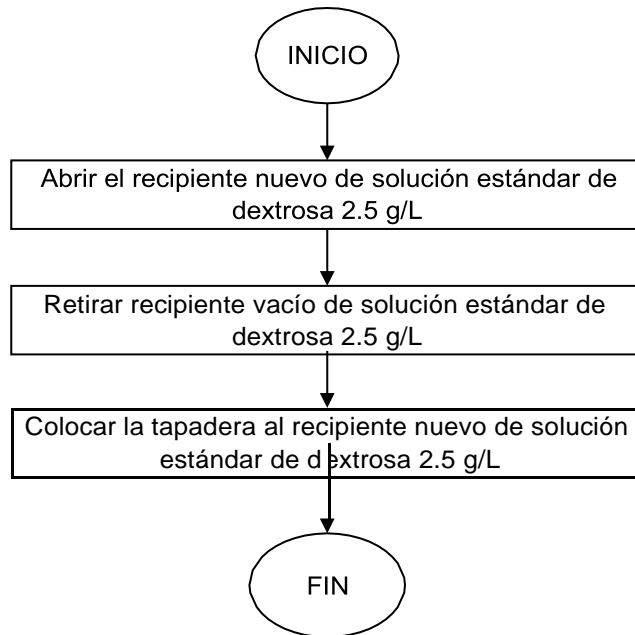
Imagen No. 6: Vista interior frontal del analizador bioquímico YSI 2700 SELECT



Fuente: YSI (2009)

Diagrama No. 6: Colocación de la solución estándar de dextrosa 2.5 g/L en el equipo analizador bioquímico YSI 2700

Diagramadora: Luisa Muñoz

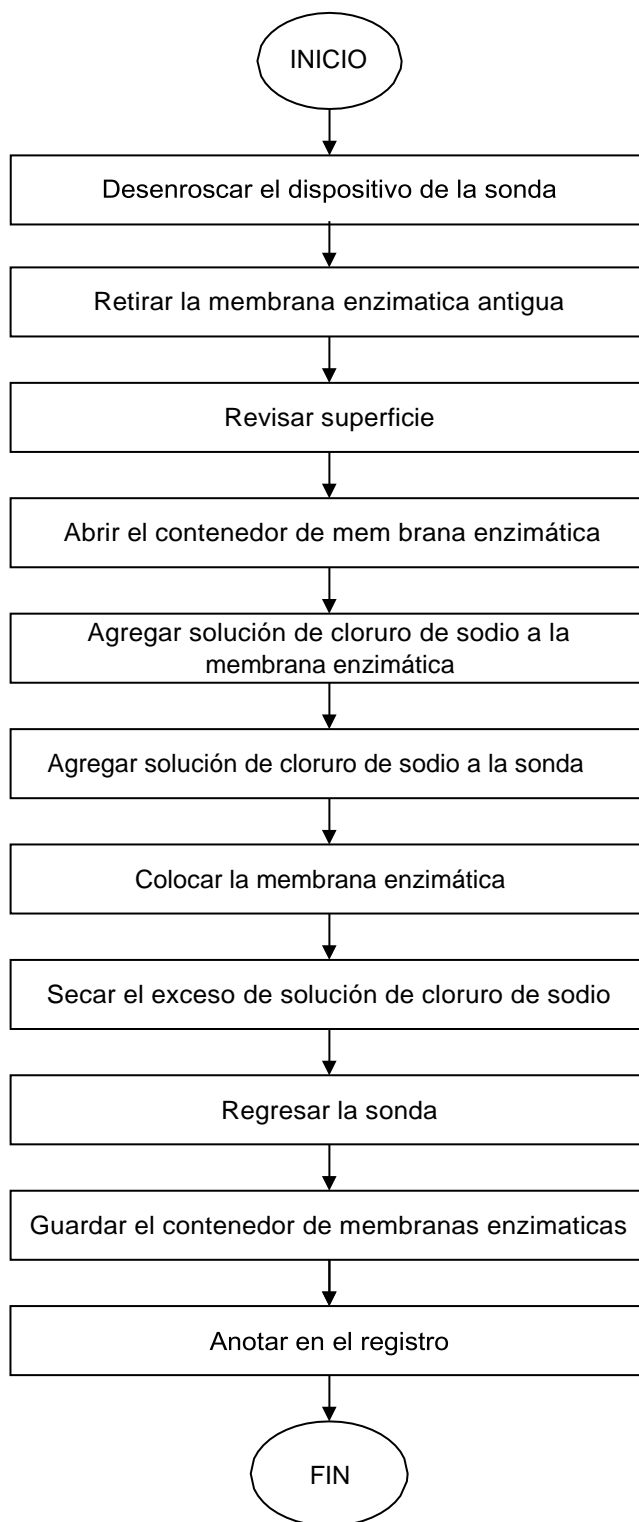


Descripción de la colocación de la solución estándar de dextrosa 2.5 g/L en el equipo analizado bioquímico YSI 2700 SELECT:

1. Abrir el recipiente nuevo de solución estándar de dextrosa 2.5 g/L.
2. Retirarle el recipiente vacío de solución estándar de dextrosa 2.5 g/L. En la Imagen No. 5 se muestra que es el primer recipiente.
3. Colocar la tapadera al recipiente nuevo de solución estándar de dextrosa 2.5 g/L. Se debe tener precaución para que el cable eléctrico del sensor de nivel no entre en contacto con las paredes del equipo ni con las del recipiente.

Diagrama No. 7: Colocación de membrana enzimática de dextrosa

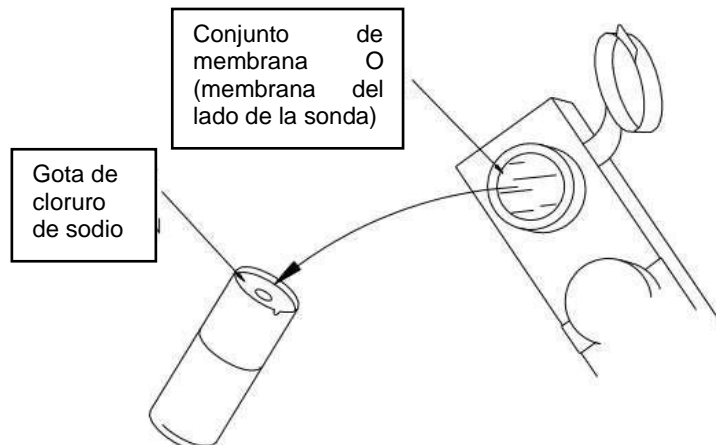
Diagramadora: Luisa Muñoz



Descripción de la colocación de la membrana enzimática de dextrosa en el equipo analizador bioquímico YSI 2700 SELECT:

1. Desenroscar el dispositivo de la sonda.
2. Retirar la membrana antigua. Tener precaución de no lastimar la superficie de la sonda.
3. Revisar la superficie de la sonda. Remover cualquier pieza de membrana que pueda quedar.
4. Abrir una cavidad del contenedor de membrana enzimática.
5. Agregar 3 gotas de solución de cloruro de sodio a la membrana enzimática.
6. Agregar 1 gota de solución de cloruro de sodio a la superficie de la sonda.
7. Colocar la membrana enzimática en la sonda, como se puede observar en la Imagen No.6.
8. Secar el exceso de solución de cloruro de sodio.
9. Regresar la sonda a la cámara de muestra.
10. Almacenar en refrigeración (5-10 °C) el contenedor de membranas enzimáticas.

Imagen No. 7: Instalación de membrana enzimática

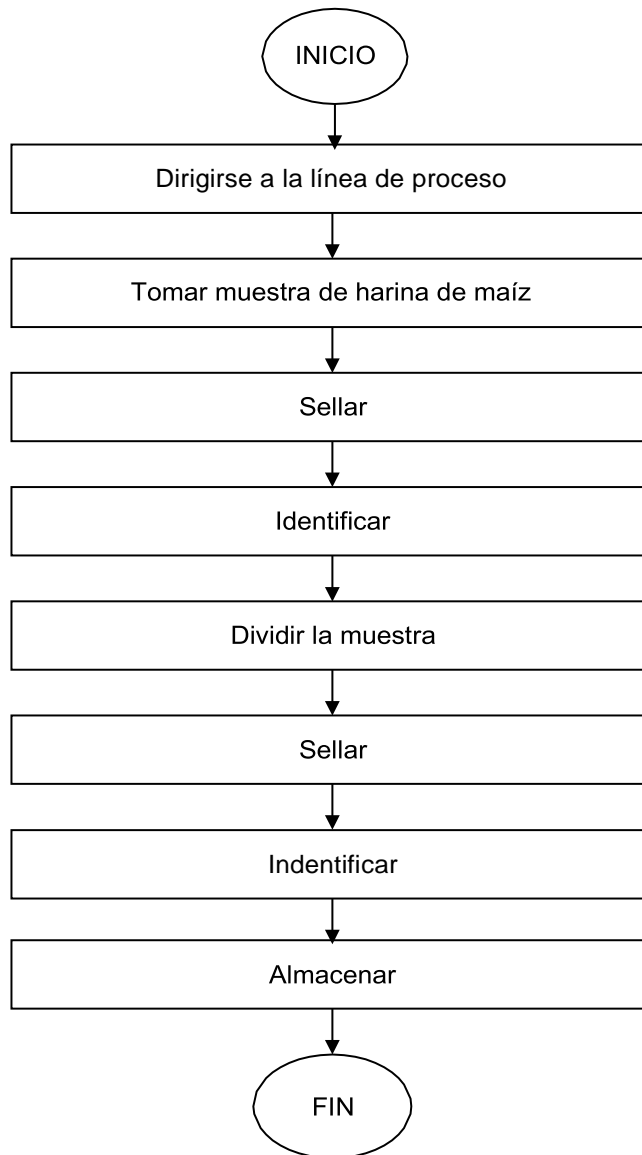


Fuente: YSI (2009)

C. Toma de muestra de harina de maíz

Diagrama No. 8: Toma de muestra de harina de maíz

Diagramadora: Luisa Muñoz



Descripción de toma de muestra de harina de maíz:

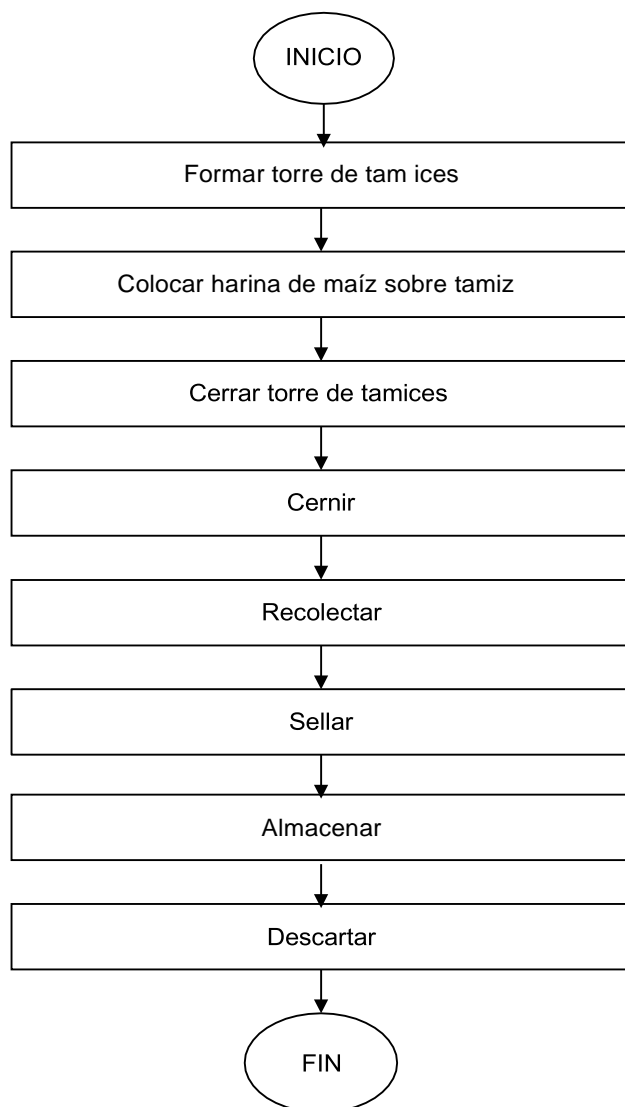
1. Dirigirse a la línea de producción en el área designada para la toma de muestras.

2. Tomar una muestra de aproximadamente 700 g con ayuda de un cucharón, colocarlo en una bolsa de plástico transparente con capacidad de 2 lb (900 g).
3. Sellar la bolsa plástica con un sellador térmico.
4. Identificar la muestra con los siguientes datos: fecha y hora de la toma de muestra, y el No. de lote de la harina de maíz.
5. Dividir la muestra en bolsas de plástico de alta densidad con capacidad de 1136.4 g (2.5 lb) de la siguiente manera:
 - 50 g para el análisis del porcentaje de almidón
 - 100 g para el análisis del porcentaje de humedad
 - 500 g como muestra de respaldo
6. Sellar la bolsa de plástico de alta densidad con un sellador térmico.
7. Identificar la muestra con los siguientes datos: análisis, fecha y hora de la toma de muestra, y el No. de lote de la harina de maíz.
8. Almacenar en un lugar y condiciones adecuadas hasta que sea utilizada.

D. Cernido

Diagrama No. 9: Cernido de harina de maíz

Diagramadora: Luisa Muñoz



Descripción del cernido de harina de maíz:

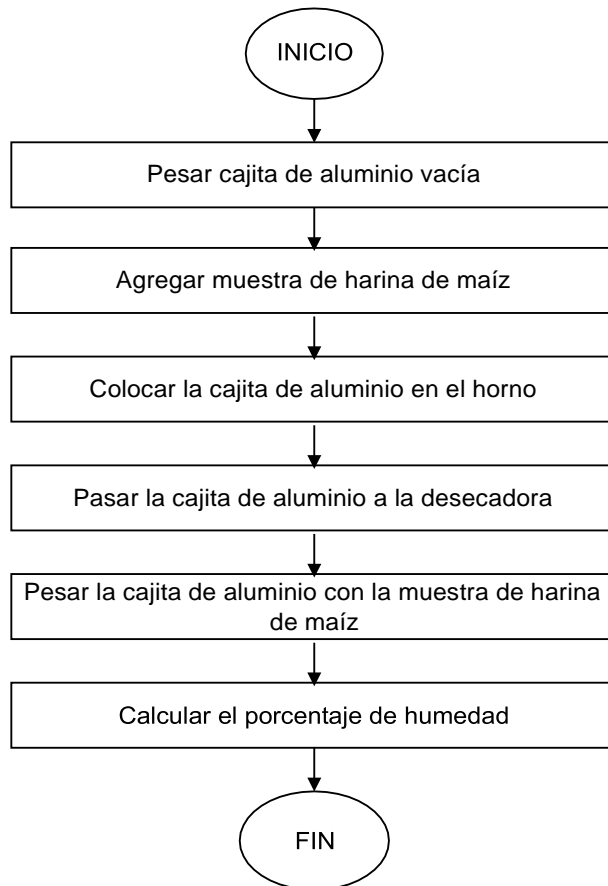
1. Formar torre de tamices en el siguiente orden: tamiz No. 35 (500 μm), tamiz No. 40 (450 μm), tamiz No. 60 (250 μm) y tamiz No. 70 (210 μm).
2. Colocar la muestra tomada para el análisis del porcentaje de almidón sobre el tamiz No. 40 (450 μm).
3. Cerrar la torre de tamices colocando la tapadera en la superficie y el recolector en el fondo.

4. Colocar la muestra en el cernidor por 300 s.
5. Recolectar la harina de maíz que pase el tamiz No. 40 (450 μm) en una bolsa de plástico con capacidad para 2 lb (909.0 g).
6. Sellar la bolsa plástica con un sellador térmico.
7. Guardar en un lugar seco.
8. Descartar la harina de maíz retenida en el tamiz No. 40 (450 μm).

E. Determinación del porcentaje de humedad

Diagrama No. 10: Determinación del porcentaje de humedad

Diagramadora: Luisa Muñoz



Descripción de la determinación del porcentaje de humedad:

1. Pesar la cajita de aluminio vacía.
2. aproximadamente 6.1 g de muestra de harina de maíz al peso de la cajita de aluminio.
3. Colocar la cajita de aluminio en el horno a $101\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 12 h.
4. Pasar la cajita de aluminio a la desecadora por 30 min, para que alcance la temperatura ambiente.
5. Pesar la cajita de aluminio con la muestra.
6. Calcular el porcentaje de humedad con la Ecuación No. 4.

Ecuación No. 4: Porcentaje de humedad

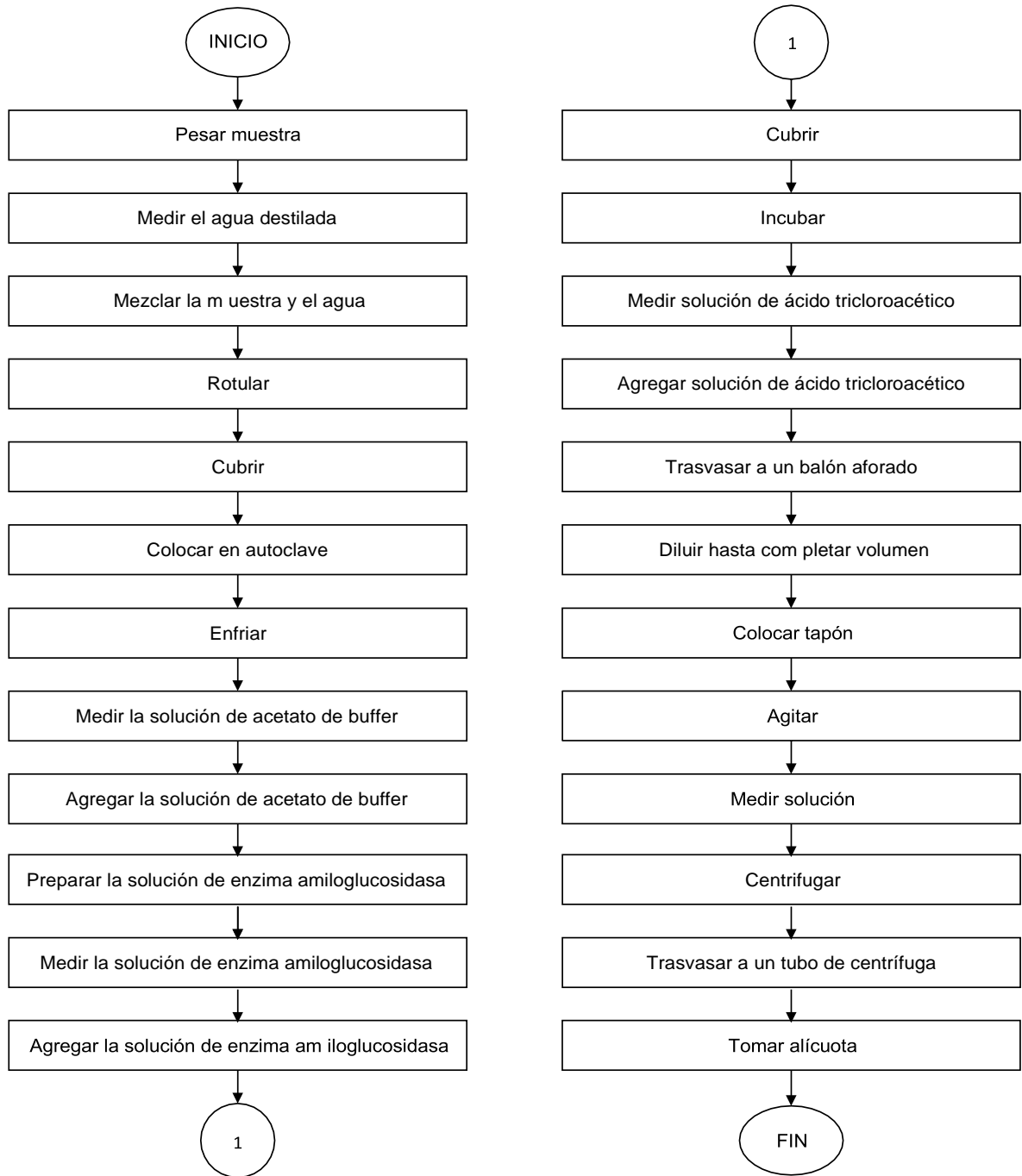
$$\text{Porcentaje de humedad} = \frac{PMH - PMS}{PMH - P} * 100$$

Fuente: AOAC (1987)

F. Preparación de la muestra para análisis del porcentaje de almidón

Diagrama No. 11: Preparación de la muestra para análisis del porcentaje de almidón

Diagramadora: Luisa Muñoz



Descripción de la realización del análisis del porcentaje de almidón:

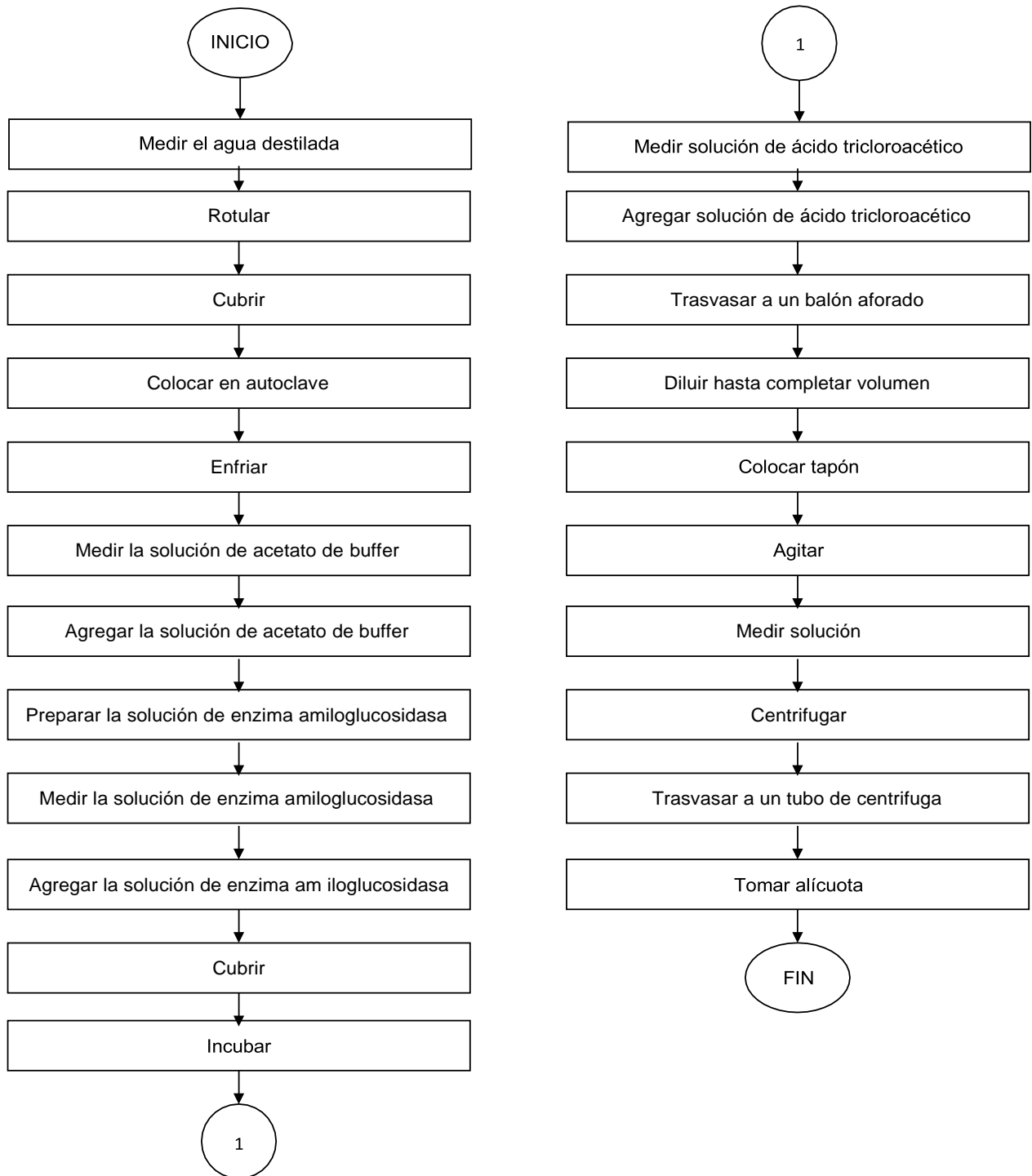
1. Pesar aproximadamente 0.5 g de muestra harina de maíz previamente cernida.
2. Medir 25 ml de agua destilada.
3. Mezclar la harina de maíz con el agua destilada en un erlenmeyer con capacidad para 125 ml.
4. Rotular el erlenmeyer con el código de la muestra.
5. Cubrir la parte superior del erlenmeyer con trozo de papel aluminio.
6. Colocar en una autoclave por 1 h a 120 °C.
7. Enfriar hasta alcanzar 40 °C.
8. Medir 10 ml de solución de acetato de buffer.
9. Agregar la solución de acetato de buffer al erlenmeyer.
10. Preparación de enzima:
 - 10.1 Pesar 80 mg de enzima amiloglucosidasa.
 - 10.2 Medir 2 ml de agua destilada.
 - 10.3 Disolver la enzima amiloglucosidasa en el agua destilada en un beaker con capacidad de 10 ml.
 - 10.4 Trasvasar a un tubo de ensayo.
 - 10.5 Agitar en un agitador vórtex hasta obtener una solución cristalina.
11. Medir 100 µl de solución de enzima amiloglucosidasa.
12. Agregar la enzima amiloglucosidasa al erlenmeyer.
13. Cubrir la parte superior del erlenmeyer con trozo de papel aluminio.
14. Incubar en baño María por 4 h a 40 °C.
15. Medir 5 ml de solución de ácido tricloroacético.
16. Agregar la solución de ácido tricloroacético al erlenmeyer.
17. Trasvasar la solución a un balón aforado con capacidad para 100 ml.
18. Diluir con agua destilada hasta completar volumen.
19. Colocar el tapón al balón aforado.
20. Agitar 5 veces.
21. Medir 40 ml de solución.
22. Trasvasar a un tubo de centrifuga.

23. Centrifugar por 8 min a 250 rpm.
24. Tomar 2 alícuotas que serán utilizadas para la lectura de dextrosa por el equipo analizador bioquímico YSI 2700 SELECT.

G. Preparación del blanco

Diagrama No. 12: Preparación del blanco

Diagramadora: Luisa Muñoz



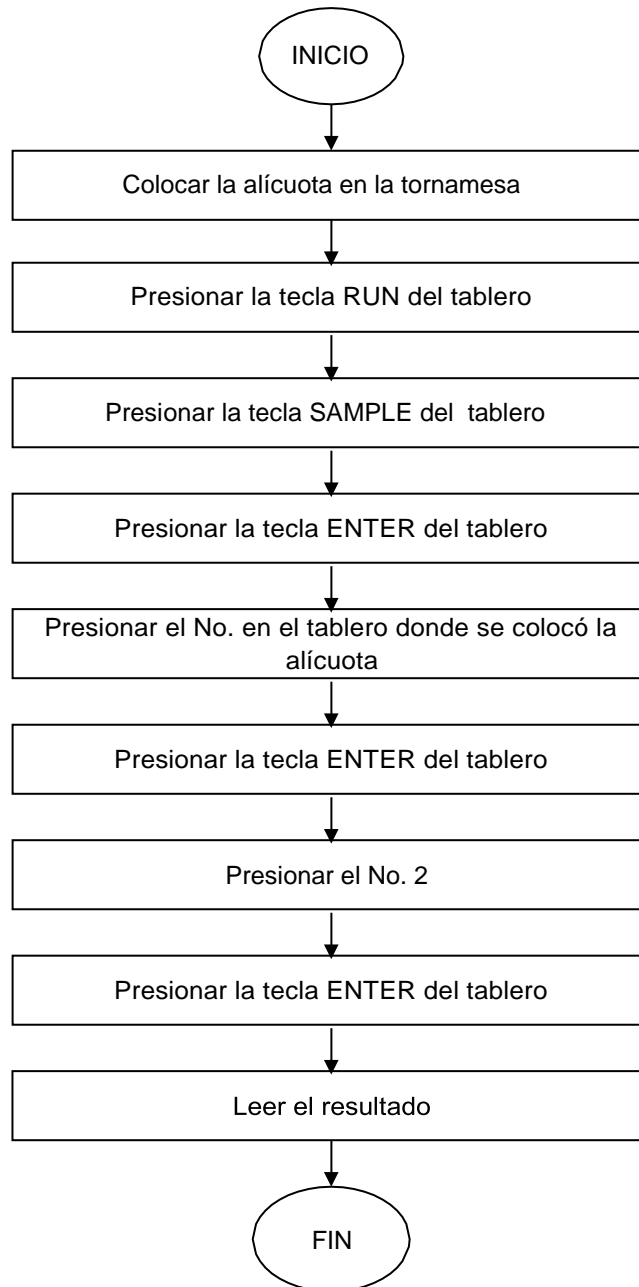
Descripción de la preparación del blanco:

1. Medir 25 ml de agua destilada y agregarlos en un erlenmeyer con capacidad para 125 ml.
2. Rotular el erlenmeyer como: blanco.
3. Cubrir la parte superior del erlenmeyer con trozo de papel aluminio.
4. Colocar en una autoclave por 1 h a 120 °C.
5. Enfriar hasta alcanzar 40 °C.
6. Medir 10 ml de solución de acetato de buffer.
7. Agregar la solución de acetato de buffer al erlenmeyer.
8. Preparación de enzima:
 - 8.1 Pesar 80 mg de enzima amiloglucosidasa.
 - 8.2 Medir 2 ml de agua destilada.
 - 8.3 Disolver la enzima amiloglucosidasa en el agua destilada en un beaker con capacidad de 10 ml.
 - 8.4 Trasvasar a un tubo de ensayo.
 - 8.5 Agitar en un agitador vórtex hasta obtener una solución cristalina.
9. Medir 100 µl de solución de enzima amiloglucosidasa.
10. Agregar la enzima amiloglucosidasa al erlenmeyer.
11. Cubrir la parte superior del erlenmeyer con trozo de papel aluminio.
12. Incubar en baño María por 4 h a 40 °C.
13. Medir 5 ml de solución de ácido tricloroacético.
14. Agregar la solución de ácido tricloroacético al erlenmeyer.
15. Trasvasar la solución a un balón aforado con capacidad para 100 ml.
16. Diluir con agua destilada hasta completar volumen.
17. Colocar el tapón al balón aforado.
18. Agitar 5 veces.
19. Medir 40 ml de solución.
20. Trasvasar a un tubo de centrifuga.
21. Centrifugar por 8 min a 250 rpm.
22. Tomar 2 alícuotas que serán utilizadas para la lectura de dextrosa por el equipo analizador bioquímico YSI 2700 SELECT.

H. Lectura de dextrosa en el equipo analizador bioquímico YSI 2700
SELECT

Diagrama No. 13: Lectura de dextrosa en el equipo Analizador bioquímico YSI
2700 SELECT

Diagramadora: Luisa Muñoz



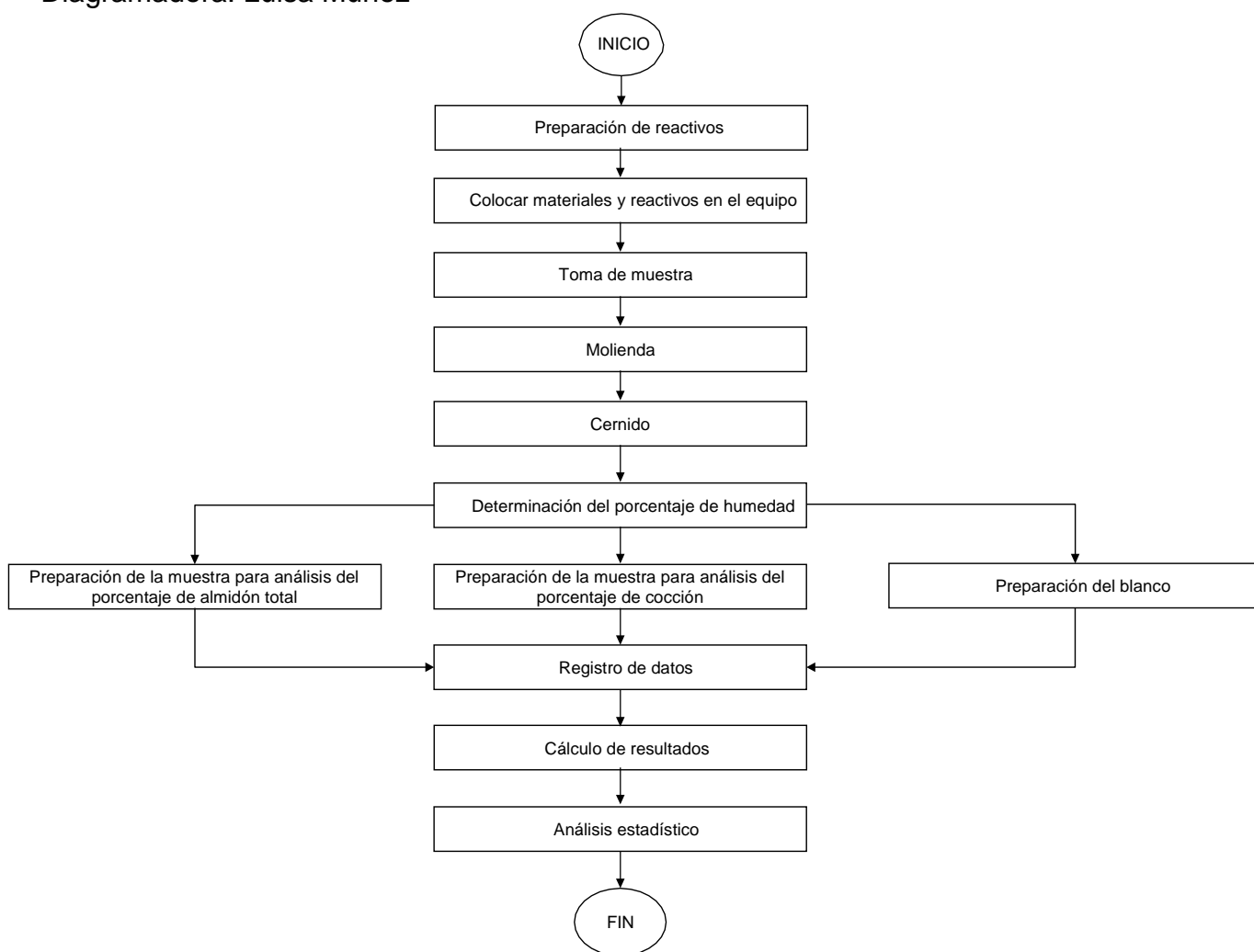
Descripción de la lectura de dextrosa en el equipo Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT:

1. Colocar la alícuota en la tornamesa.
2. Presionar la tecla RUN/ CORRIDA, el equipo entra a la modalidad de corrida donde se debe de esperar a que el equipo se estabilice.
3. Presionar la tecla SAMPLE/ MUESTRA
4. Presionar la tecla ENTER/ INGRESAR
5. Presionar el No. en el tablero donde se colocó la alícuota.
6. Presionar la tecla ENTER/ INGRESAR
7. Presionar el No. 2 para que el análisis se realice en duplicado.
8. Presionar la tecla ENTER/ INGRESAR, el equipo toma una porción de la alícuota la cual es analizada en duplicado.
9. Leer el resultado que se muestra en la impresora.

3.2.2 Procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de cocción en cereales extruidos

Diagrama No. 14: Procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de cocción en productos extruidos tipo pellet

Diagramadora: Luisa Muñoz



A. Preparación de reactivos

Se realiza de la misma manera la descrita en el inciso A del procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.

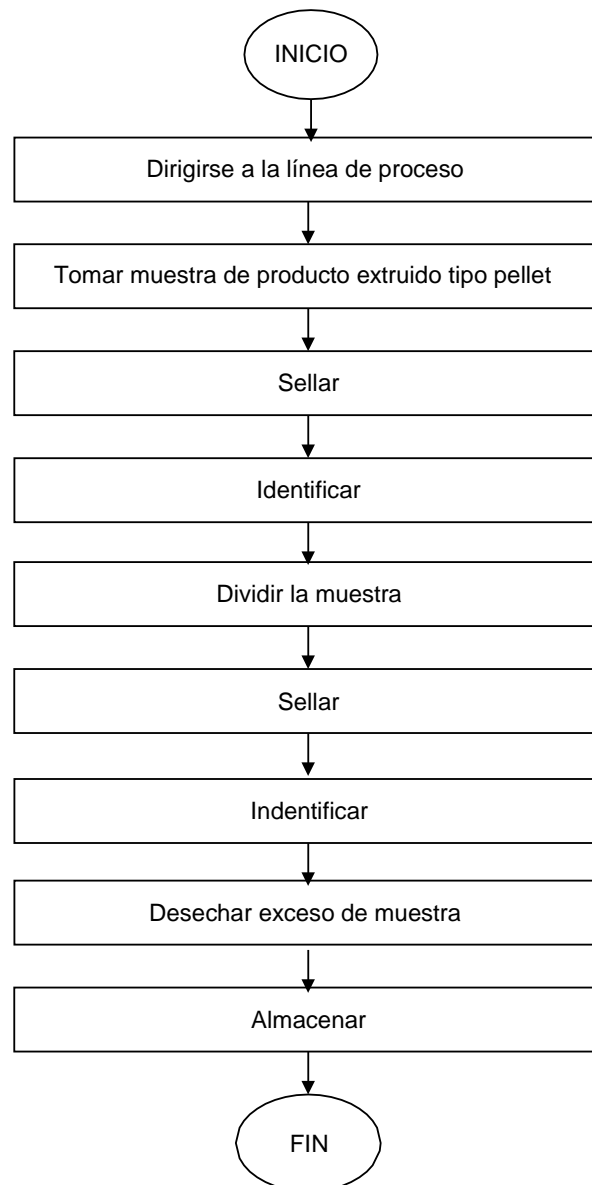
B. Colocar reactivos y materiales en el equipo

Se realiza de la misma manera la descrita en el inciso B del procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.

C. Toma de muestra

Diagrama No. 15: Toma de muestra de producto extruido tipo pellet

Diagramadora: Luisa Muñoz



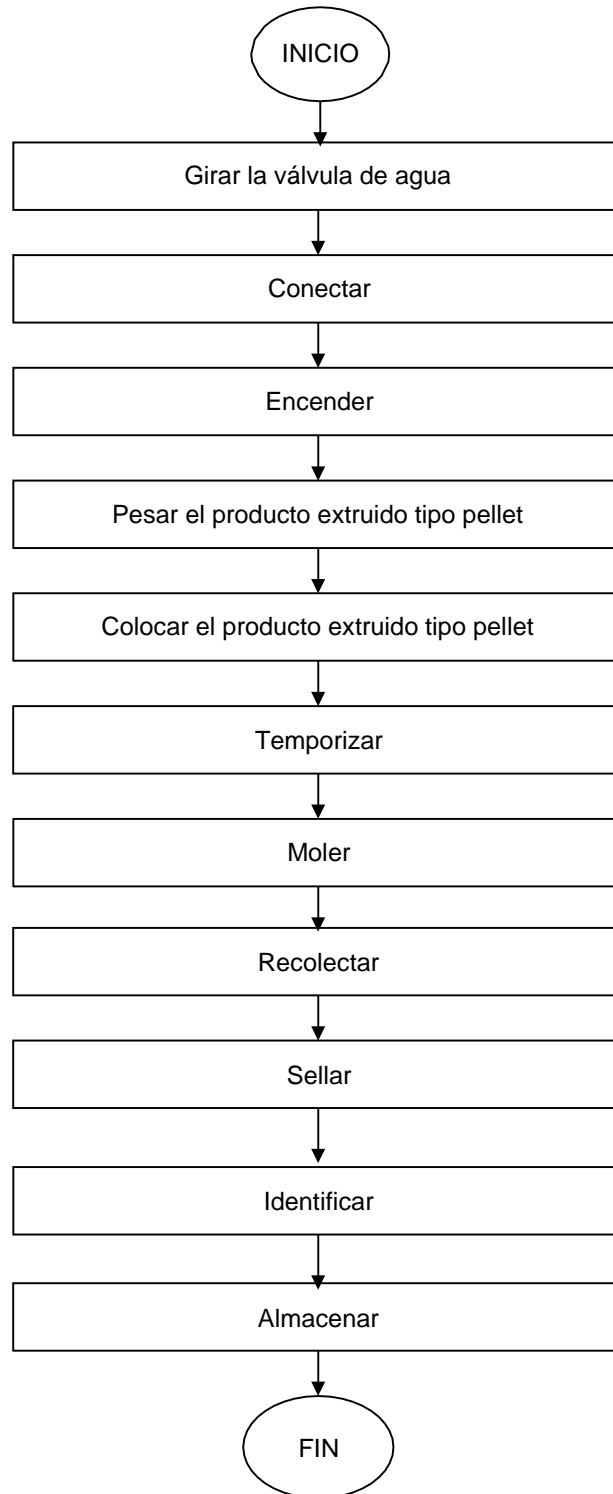
Descripción de toma de muestra de producto extruido tipo pellet:

1. Dirigirse a la línea de producción en el área designada para la toma de muestras.
2. Tomar una muestra de aproximadamente 700 g con ayuda de un cucharón, colocarlo en una bolsa de plástico transparente con capacidad de 2 lb (900 g).
3. Sellar la bolsa plástica con un sellador térmico.
4. Identificar la muestra con los siguientes datos: fecha y hora de la toma de muestra, y el No. de lote del producto extruido tipo pellet.
5. Dividir la muestra en bolsas de plástico de alta densidad con capacidad de 2.5 lb (1136.4 g) de la siguiente manera:
 - 60 g para el análisis del porcentaje de almidón y análisis del porcentaje de cocción
 - 100 g para el análisis del porcentaje de humedad
 - 500 g como muestra de respaldo
6. Sellar la bolsa de plástico de alta densidad con un sellador térmico.
7. Identificar la muestra con los siguientes datos: análisis, fecha y hora de la toma de muestra, y el No. de lote del producto extruido tipo pellet.
8. Almacenar en un lugar y condición adecuada hasta que sea utilizada.

D. Molienda de producto extruido tipo pellet

Diagrama No. 16: Molienda de producto extruido tipo pellet

Diagramadora: Luisa Muñoz



Descripción de la molienda de producto extruido tipo pellet:

1. Girar la válvula de agua conectada al molino FOSS para que pueda circular en la parte interna del molino.
2. Conectar el molino FOSS.
3. Encender el molino FOSS al subir los interruptores ubicados en la parte trasera y delantera.
4. Pesar 30 g de muestra de producto extruido tipo pellet.
5. Colocar la muestra dentro del molino FOSS.
6. Colocar la tapadera.
7. Agregar 10 s al temporizador.
8. Moler la muestra producto extruido tipo pellet en ciclos de 10 s, por un total de 70 s.
9. Recolectar la harina en una bolsa plástica transparente.
10. Sellar la bolsa de plástico transparente con un sellador térmico.
11. Identificar la muestra con los siguientes datos: fecha y hora de la toma de muestra, y el No. de lote del producto extruido tipo pellet.
12. Almacenar en un lugar y condiciones adecuadas hasta que sea utilizada.

E. Cernido de harina del producto extruido tipo pellet

Se realiza de la misma manera la descrita en el inciso D del procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.

F. Determinación del porcentaje de humedad

Se realiza de la misma manera la descrita en el inciso E del procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.

G. Preparación de la muestra para análisis del porcentaje de almidón total

Se realiza de la misma manera la descrita en el inciso F del procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.

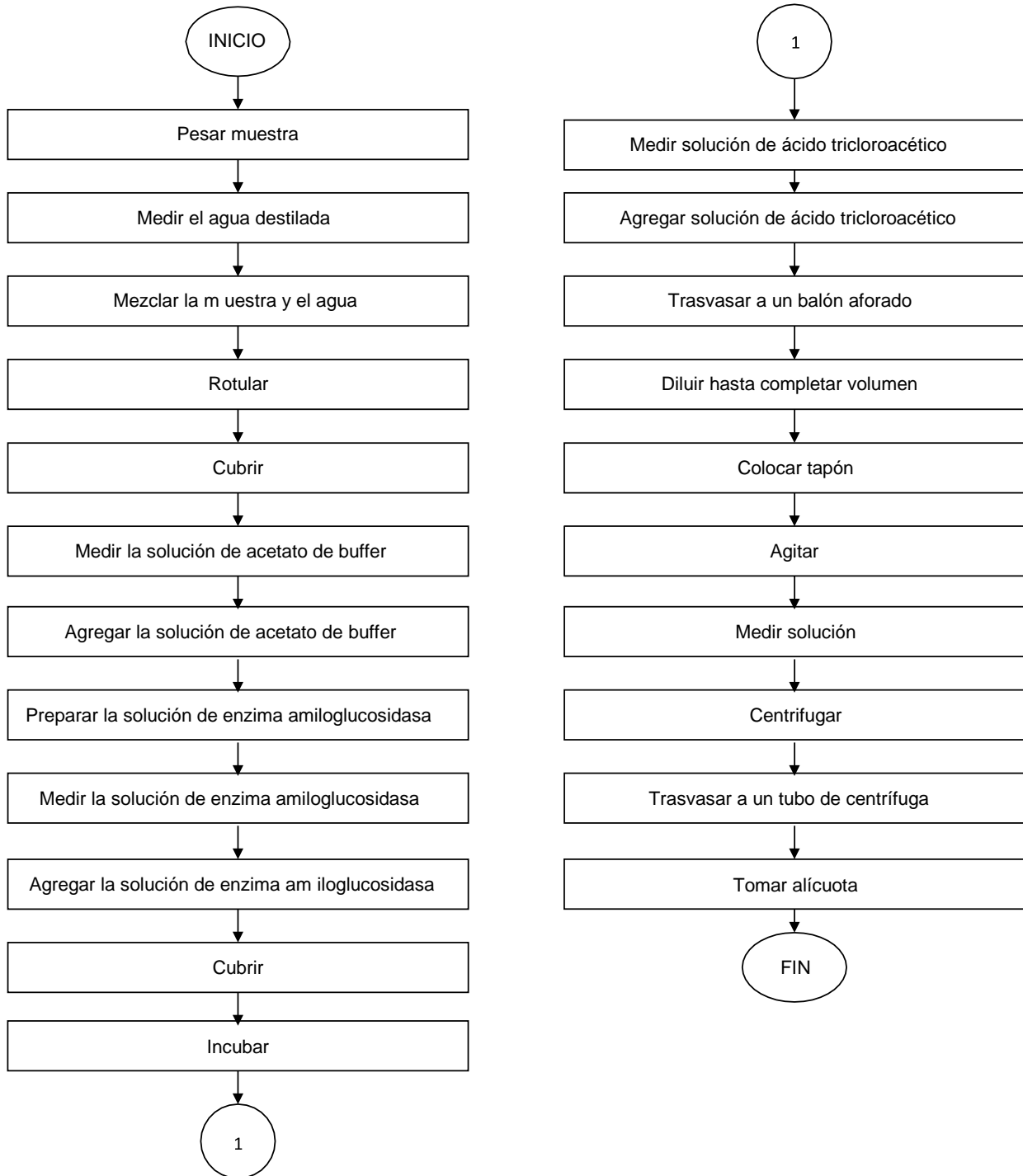
H. Preparación del blanco

Se realiza de la misma manera la descrita en el inciso G del procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz.

I. Preparación de la muestra para análisis del porcentaje de cocción

Diagrama No. 17: Preparación de la muestra para análisis del porcentaje de cocción

Diagramadora: Luisa Muñoz



Descripción de la realización del análisis del porcentaje de cocción:

1. Pesar 0.5 g de muestra de pellet molido previamente cernida.
2. Medir 25 ml de agua destilada.
3. Mezclar la harina de maíz con el agua destilada en un erlenmeyer con capacidad para 125 ml.
4. Rotular el erlenmeyer con el código de la muestra.
5. Cubrir la parte superior del erlenmeyer con trozo de papel aluminio.
6. Medir 10 ml de solución de acetato de buffer.
7. Agregar la solución de acetato de buffer al erlenmeyer.
8. Preparación de enzima:
 - 8.1 Pesar 80 mg de enzima amiloglucosidasa.
 - 8.2 Medir 2 ml de agua destilada.
 - 8.3 Disolver la enzima amiloglucosidasa en el agua destilada en un beaker con capacidad de 10 ml.
 - 8.4 Trasvasar a un tubo de ensayo.
 - 8.5 Agitar en un vórtex hasta obtener una solución cristalina.
9. Medir 100 μ l de solución de enzima amiloglucosidasa.
10. Agregar la enzima amiloglucosidasa al erlenmeyer.
11. Cubrir la parte superior del erlenmeyer con trozo de papel aluminio.
12. Incubar en baño María por 4 h a 40 °C.
13. Medir 5 ml de solución de ácido tricloroacético.
14. Agregar la solución de ácido tricloroacético al erlenmeyer.
15. Trasvasar la solución a un balón aforado con capacidad para 100 ml.
16. Diluir con agua destilada hasta completar volumen.
17. Colocar el tapón al balón aforado.
18. Agitar 5 veces.
19. Medir 40 ml de solución.
20. Trasvasar a un tubo de centrifuga.
21. Centrifugar por 8 min a 250 rpm.
22. Tomar 2 alícuotas que serán utilizadas para la lectura de dextrosa por el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT.

3.3 Diseño y metodología estadística

3.3.1.1 Diseño experimental

Tabla No. 7: Experimentos y tratamientos

No.	Experimento	Descripción	Tratamiento	Repeticiones
1 2 3	Harina de maíz	Harina de maíz utilizada para la extrusión del pellet Lote:280316	Se determinó el porcentaje de almidón al determinar el contenido de dextrosa con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	Duplicado
4 5 6	Harina de maíz	Harina de maíz utilizada para la extrusión del pellet Lote: 180416	Se determinó el porcentaje de almidón al determinar el contenido de dextrosa con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	Duplicado
7 8 9	Harina de maíz	Harina de maíz utilizada para la extrusión del pellet Lote:240416	Se determinó el porcentaje de almidón al determinar el contenido de dextrosa con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	Duplicado
10 11 12	Harina de maíz	Harina de maíz utilizada para la extrusión del pellet Lote: 020516	Se determinó el porcentaje de almidón al determinar el contenido de dextrosa con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	Duplicado
13 14 15	Producto extruido tipo pellet	Producto extruido tipo pellet de maíz Lote: 110416	Se determinó el porcentaje de cocción al determinar el contenido de dextrosa con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	Duplicado
16 17 18	Producto extruido tipo pellet	Producto extruido tipo pellet de maíz Lote: 250416	Se determinó el porcentaje de cocción al determinar el contenido de dextrosa con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	Duplicado
19 20 21	Producto extruido tipo pellet	Producto extruido tipo pellet de maíz Lote:020516	Se determinó el porcentaje de cocción al determinar el contenido de dextrosa con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	Duplicado
22 23 24	Producto extruido tipo pellet	Producto extruido tipo pellet de maíz Lote: 090516	Se determinó el porcentaje de cocción al determinar el contenido de dextrosa con el analizador bioquímico YSI 2700 SELECT	Duplicado

Fuente: elaboración propia (2016)

3.3.2 Descripción de las unidades experimentales

- Harina de maíz: se le realizó un análisis fisicoquímico del porcentaje de almidón, al degradar el almidón a dextrosa por vía enzimática. El contenido de dextrosa se cuantificó por medio del equipo analizador bioquímico YSI 2700 SELECT. Aplicando una ecuación se determinó el porcentaje de almidón.
- Producto extruido tipo pellet: se le realizó un análisis fisicoquímico del porcentaje de cocción, degradar el almidón a dextrosa por vía enzimática. El contenido de dextrosa se determinó por medio del equipo analizador bioquímico YSI 2700 SELECT, se obtuvo el porcentaje de cocción por la relación entre el contenido de almidón total y el contenido de almidón gelatinizado por efecto de proceso de extrusión.

3.3.3 Variable respuesta

Tabla No. 8: Variables respuesta

Variable	Unidad	Instrumentos
Porcentaje de almidón	%	Analizador bioquímico YSI 2700
Porcentaje de cocción	%	Analizador bioquímico YSI 2700

3.3.4 Metodología de análisis

– Tamaño de la muestra

Las técnicas de muestreo pueden clasificarse como probabilísticas y no probabilísticas. El muestreo no probabilístico se basa en el juicio personal del investigador más que en la oportunidad de seleccionar elementos de muestra. El investigador puede decidir de manera arbitraria o consistente qué elementos incluir en la muestra. Las muestras no probabilísticas pueden arrojar buenos estimados de las características de población. Entre las más comúnmente utilizadas se encuentran: muestreo por conveniencia, muestreo por juicio, muestreo por cuotas y muestreo por bola de nieve. (Malhotra, 2004)

Para determinar el tamaño de la muestra a analizar se decidió realizar un muestreo por conveniencia. Esto debido a que la producción en la planta procesadora de alimentos donde se desarrolló el presente estudio, trabaja de manera continua por 24 horas. La población de producción es demasiado grande, por lo que sería costoso, tardado y complicado obtener información completa de ella. Se producen alrededor de 250,000 kg de harina de maíz y 72,000 kg de producto extruido tipo pellet por lote. El tamaño de la muestra de estudio se definió junto con la fábrica procesadora de alimentos, la cual fue de 4 lotes y se tomaron 3 muestras aleatorias por lote.

– t student

La prueba de t-student fue utilizada para comparar la exactitud del análisis, si existía diferencia significativa entre el porcentaje de almidón en harina de maíz y el valor teórico. También se realizó la misma prueba para el porcentaje de almidón y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.

La t-student es una distribución de variable continua generada de la distribución normal, de mucha utilidad por sus diversas aplicaciones en la práctica. Es utilizada debido a que en la mayoría de los casos prácticos el valor de la varianza poblacional (σ) es desconocido. Por lo que se sustituye la σ por la desviación estándar de la muestra (S). (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010)

Se utiliza cuando el tamaño de la muestra es menor a 30. Para calcular la t práctica se utiliza la siguiente:

Ecuación No. 4: t student

$$t_{pr\acute{a}ctica} = \frac{X - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

X = media de la muestra

μ = valor de referencia/ valor teórico

S = desviación estándar de la población

n = tamaño de la muestra

Además se debe de calcular la t tablas, este depende de los grados de libertad y del nivel de significancia. Los grados de libertad se calculan de la siguiente manera:

$$gl = n - 1$$

n = tamaño de la muestra

Si la t práctica es mayor que el valor t de tablas, se rechaza hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_a).

- Límite mínimo y límite máximo

Se utilizan para establecer un rango de aprobación dentro de una población para un parámetro de calidad. Utilizan la media (X) y desviación estándar (S). (Padron, 2002)

Se calculan de la siguiente manera:

Ecuación No. 5: Límite mínimo

$$LCI = X - 3S$$

(Padron, 2002)

X = media de la muestra

S = desviación estándar de la población

Ecuación No. 6: Límite máximo

$$LCS = X + 3S$$

(Padron, 2002)

X = media de la muestra

S = desviación estándar de la población

- Precisión

La precisión puede establecerse en términos de repetibilidad y reproducibilidad. El grado de precisión se expresa habitualmente en términos de imprecisión y se calcula como desviación estándar de los resultados. (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010).

a) Repetibilidad: es la precisión bajo las condiciones de repetibilidad, es decir, condiciones donde los resultados de análisis independientes se obtienen con el mismo método, laboratorio, analizador y equipo; dentro de intervalos cortos de tiempo.

Se puede determinar registrando a lo menos 6 mediciones bajo las condiciones mencionadas. Se debe de calcular la desviación estándar (S) y el porcentaje de coeficiente de variación (CVr%).

Ecuación No. 7: Repetibilidad

$$CV_r = \frac{S}{\bar{X}} * 100\%$$

(Instituto de Salud Pública de Chile, 2010)

\bar{X} = media de la muestra

S = desviación estándar

- b) Reproducibilidad: es la precisión bajo las condiciones de reproducibilidad, es decir, condiciones donde los resultados de los análisis se obtienen con el mismo método en ítem idénticos de análisis en condiciones diferentes ya sea de laboratorio, operadores o equipo.

Se calcula registrando a lo menos 10 mediciones en días distintos, o en un mismo día cambiando a lo menos una condición analítica (operador, equipo, reactivos o largo intervalo de tiempo) de un analito en un Material de Referencia. Calcular la desviación estándar (S_{Ri}) y el porcentaje de coeficiente de variación ($CV_{Ri}\%$). (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010)

Ecuación No. 8: Reproducibilidad

$$CV_r = \frac{S}{\bar{X}} * 100\%$$

(Instituto de Salud Pública de Chile, 2010)

\bar{X} = media de la muestra

S = desviación estándar

- Incertidumbre

La incertidumbre de una medición es el parámetro asociado al resultado, es decir, caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mesurando. Es importante que para validar o verificar una metodología, se realice la determinación de las diferentes fuentes o componentes de la incertidumbre de la medición presentes (Instituto de Salud Pública de Chile, 2010)

Para fines de laboratorio se debe de realizar una evaluación de las incertidumbres tipo A y B que están presentes en el método:

- Evaluación de incertidumbre tipo A o aleatorio: evaluación de un componente por un análisis estadístico de los valores de mediciones obtenidos en condiciones de medición definidas para lo cual se deben de realizar varias mediciones en condiciones de repetibilidad.

La ecuación a utilizar es la siguiente:

Ecuación No. 9: Incertidumbre estándar tipo A (aleatorio)

$$u = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

CENAM (2010)

n = número de repeticiones
 S = desviación estándar

- Evaluación de incertidumbre tipo B o sistemático: evaluación de un componente incertidumbre aportada por las mediciones realizadas en equipos y cristalería volumétrica.

La ecuación a utilizar es la siguiente:

Ecuación No. 10: Incertidumbre estándar tipo B (sistemático)

$$u = \frac{a}{2}$$

a = unidad mínima de medida

Luego de calcular ambas incertidumbres estándar se debe de calcular la incertidumbre combinada.

Ecuación No. 11: Incertidumbre combinada

$$u = \sqrt{V_1 \frac{u_1^2}{V_1} + V_2 \frac{u_2^2}{V_2} + V_3 \frac{u_3^2}{V_3} + V_4 \frac{u_4^2}{V_4}}$$

CENAM (2010)

Ecuación No. 12: Incertidumbre expandida

$$u_{expandida} = k * u_{combinada}$$

CENAM (2010)

IX. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla No. 9: Porcentaje de almidón en harina de maíz

MUESTRA	% ALMIDON
Valor de Referencia	78.20
1	79.02
2	77.33
3	77.81
4	78.74
5	76.26
6	77.90
7	77.26
8	78.98
9	78.50
10	78.66
11	77.19
12	76.47

Fuente: elaboración propia (2017)

*El valor de referencia se refiere al resultado del laboratorio externo para el porcentaje de almidón.

Tabla No. 10: Porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

MUESTRA	% COCCIÓN
Valor Teórico	<90
13	92.94
14	92.49
15	92.50
16	91.82
17	91.25
18	91.15
19	87.74
20	89.22
21	89.47
22	92.79
23	93.96
24	92.44

Fuente: elaboración propia (2017)

*El valor de teórico se refiere al porcentaje de cocción de producto extruido tipo pellet según Frame (1994).

Tabla No. 11: Prueba t- student para porcentaje de almidón en harina de maíz

Producto	Grados de libertad (gl)	Nivel de confianza	t tablas	Media (X)	Tamaño de la muestra (n)	t práctico
Harina de maíz	11	99.5%	3.1058	77.84	12	1.2967

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 12: Prueba t- student para porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Producto	Grados de libertad (gl)	Nivel de confianza	t tablas	Media (X)	Tamaño de la muestra (n)	t práctico
Producto extruido tipo pellet	11	99.5%	3.1058	91.48	12	2.8225

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 13: Rango para porcentaje de almidón en harina de maíz

Producto	Desviación estándar (S)	Media (X)	Límite mínimo (LCI)	Límite máximo (LCS)
Harina de maíz	0.028	79.21	74.98 %	80.71 %

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 14: Rango para porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Producto	Desviación estándar (S)	Media (X)	Límite mínimo (LCI)	Límite máximo (LCS)
Producto extruido tipo pellet	1.8179	91.48	86.03 %	96.93 %

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 15: Repetibilidad por lote para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Lote	Media (X)	Desviación estándar (S)	Coefficiente de variación (CV)
280316	78.05	0.87	1.12
180416	77.63	1.26	1.62
240416	78.25	0.89	1.13
020516	77.44	1.12	1.44

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 16: Repetibilidad por día para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Día	Media (X)	Desviación estándar (S)	Coefficiente de variación (CV)
1	77.84	0.99	1.28
2	77.84	1.00	1.29

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 17: Reproducibilidad para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Media (X)	Desviación estándar (S)	Coefficiente de variación (CV)
77.84	0.95	1.22

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 18: Repetibilidad por lote para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Lote	Media (X)	Desviación estándar (S)	Coefficiente de variación (CV)
110416	92.64	0.25	0.27
250416	91.40	0.36	0.39
020516	88.81	0.93	1.05
090516	93.06	0.79	0.85

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 19: Repetibilidad por día para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Día	Media (X)	Desviación estándar (S)	Coefficiente de variación (CV)
1	92.64	0.25	0.27
2	91.40	0.36	0.39
3	88.81	0.93	1.05
4	93.06	0.79	0.85

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 20: Reproducibilidad para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Media (X)	Desviación estándar (S)	Coefficiente de variación (CV)
91.48	1.82	1.98

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 21: Incertidumbre para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Incertidumbre estándar	0.27
Incertidumbre combinada	0.49
Incertidumbre expandida (k=2)	0.98

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 22: Incertidumbre para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Incertidumbre estándar	0.52
Incertidumbre combinada	0.86
Incertidumbre expandida (k=2)	1.71

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 23: Límite de detección para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Límite de detección (LDD)	0.023 g/ L
----------------------------------	------------

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 24: Límite de detección para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Límite de detección (LDD)	0.015 g/ L
----------------------------------	------------

Fuente: elaboración propia (2017)

Tabla No. 25: Costo análisis del porcentaje de almidón en harina de maíz

	Costo por Muestra (Q)	Costo Blanco (Q)	Costo Total (Q)
Materiales y Reactivos del Equipo	39.98	39.98	79.96
Reactivos para Buffer de Acetato	0.37	0.37	0.74
Solución al 25% de ácido tricloroacético	4.23	4.23	8.46
Enzima Amiloglucosidasa Aspergillus Niger	29.2	29.2	58.40
TOTAL			147.56

Fuente: elaboración propia (2017)

X. DISCUSIÓN

La necesidad de implementar una metodología de análisis para determinar el porcentaje de almidón en harina de maíz surge como un requerimiento de control interno de la planta procesadora de alimentos, para estandarizar los procesos de elaboración y cocción de los productos extruidos tipo pellet. El almidón es el mayor constituyente de la materia prima, harina de maíz, y es el encargado de conferirle estructura a los productos extruidos. Al establecer especificaciones y parámetros requeridos en la materia prima se podrán reducir variaciones en el producto terminado (freído). Además es importante determinar el porcentaje de cocción en el producto extruido tipo pellet debido a que una cocción incompleta está relacionada con una insatisfactoria estabilidad en la vida de anaquel, palatabilidad y digestibilidad del producto. (Paton y Spratt, 1980).

Para determinar el porcentaje de almidón en harina de maíz, se consultaron las Normas COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas), siendo la norma a utilizar la NGO34086 h8 Harina de Origen Vegetal: Determinación del Contenido de Almidón (1985). Esta norma está basada en el Método No. 14032 Métodos Oficiales de Análisis 14 Edición, publicado por la AOAC (Association of Official Analytical Chemists) en el año 1984. Esta metodología utiliza el polarímetro, un equipo de laboratorio que indica el ángulo de rotación de sustancias orgánicas ópticamente activas. La planta procesadora de alimentos contaba con un polarímetro, sin embargo este equipo era antiguo y se encontraba fuera de uso desde hace varios años, no contaba con un programa de calibración y no poseía un certificado que asegurara que la luz que emitía fuera luz amarilla (589,30 μm) ni que la lámpara de sodio se encontraba en buenas condiciones para su uso. Todos los aspectos anteriores fueron evaluados, y al no contar disponibilidad de repuestos y calibración, el método fue descartado.

En el laboratorio de la planta procesadora tenían un analizador bioquímico en el departamento de Aseguramiento de Calidad, el cual era utilizado para realizar el análisis de glucosa, se investigó una metodología que permitiera

utilizar este equipo, de esta forma se optimizaba el uso del equipo y facilitaba la implementación de nuevas metodologías con un equipo que ya era conocido por el personal del laboratorio. El analizador bioquímico es un equipo que contiene un espectrofotómetro que mide la concentración de las sustancias en base a la cantidad de sustrato utilizando como método de análisis una serie de reacciones enzimáticas.

En el manual de usuario del Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT se encuentra la Nota de Aplicación No. 319: Determinación del Porcentaje de Cocción en Productos de Cereales Extruidos, la cual se utilizó como base para la implementación de la metodología de análisis del porcentaje de almidón. Utilizando esta misma metodología se puede determinar el porcentaje de cocción de los alimentos extruidos, ya que utiliza como datos preliminares la cantidad de almidón total y el porcentaje de almidón gelatinizado durante el proceso de extrusión.

Entre las ventajas de la utilización de esta metodología se encontraba el uso de un equipo moderno, ya existente en la empresa, que el personal ya conocía, el cual contaba con auto calibraciones, la facilidad de solicitar mantenimiento externo, lo que aseguraba que las mediciones sean verídicas, además de la rapidez y precisión con la que el equipo realiza los análisis.

Al contactar al proveedor de reactivos, este indicó que en Guatemala había una planta procesadora de alimentos para el consumo animal que implementó en su laboratorio de Bromatología, el análisis del porcentaje de cocción en producto extruido, realizando ciertas modificaciones a lo descrito en la Nota de Aplicación No. 319. Se solicitó una visita técnica a dicha planta en donde la encargada del laboratorio mostró la metodología que utilizan, explicó las modificaciones realizadas al método y realizó sugerencias sobre el uso de esta metodología; las cuales fueron tomadas en cuenta para realizar los ensayos y análisis de estudio.

La implementación de las metodologías requiere la comparación estadística para determinar el sesgo de los resultados obtenidos experimentalmente con un valor de referencia o valor teórico. Para determinar el valor de referencia de

porcentaje de almidón, se envió una muestra de harina de maíz a un laboratorio extranjero, el cual se encuentra acreditado en el análisis de porcentaje de almidón. El laboratorio utiliza el método AOAC: 979.10 y AACC:76-11 para la determinación del porcentaje de almidón. Al igual que en el método propuesto, la cuantificación del almidón es por vía enzimática. El análisis se realizó en el extranjero debido a que en Guatemala ningún laboratorio de análisis de alimentos lo realiza. Los resultados enviados por el laboratorio externo se pueden observar en la Imagen No.8 (pág. 104).

Para determinar el valor teórico utilizado en la metodología del porcentaje de cocción no se logró contactar ningún laboratorio certificado que realizará el análisis, por lo que se utilizó lo propuesto por Frame (1994), quien indica que para los pellets el porcentaje de gelatinización (cocción) es típicamente por debajo del 90.0 %,

Para que los resultados obtenidos en el laboratorio de la planta procesadora de alimentos fueron representativos, fue necesario realizar un muestreo significativo tanto de la materia prima (harina de maíz) como del producto extruido tipo pellet. Debido al alto nivel de producción de la planta, el tamaño de población a muestrear era elevado, por lo cual, en consenso con el personal encargado del laboratorio de aseguramiento de calidad de la planta procesadora de alimentos, se decidió utilizar el Método de muestreo por Conveniencia. Para esto se escogieron 4 lotes de materia prima y 4 lotes de producto extruido tipo pellet a los cuales se les tomaron 3 muestras aleatoriamente, dando en total 12 muestras por analizar.

Cómo se mencionó anteriormente, ambos datos (porcentaje de almidón y porcentaje de cocción) fueron determinados utilizando el mismo equipo y haciendo modificaciones en la metodología. Para la determinación del porcentaje de almidón en la materia prima, harina de maíz, se utilizó la metodología descrita en el Diagrama No.1: Procedimiento para la implementación de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz (pág. 47); y el Diagrama No.11: Preparación de la muestra para análisis del porcentaje de almidón (pág. 61).

En el Diagrama No. 11 (pág. 61) se describe el proceso de preparación de la muestra para análisis del porcentaje de almidón. Al inicio se debe pesar la muestra y agregarle agua para formar una disolución. Después, la muestra es sometida a un proceso térmico en autoclave por 1 hora a 120 ° C donde se solubiliza y gelatiniza el almidón. Esta temperatura es mayor a la T° de gelatinización del almidón para asegurar que el almidón se gelatinizó por completo. Esto se debe a que a temperatura ambiente el almidón es insoluble en agua, sin embargo al agregarle calor alcanza su punto de gelatinización (62°C) en el cual las cadenas de amilosa y amilopectina se separan y pierden su estructura. Durante esta etapa, conforme va subiendo la temperatura, la estructura del almidón se va dañando debido a las rajaduras que tienen los gránulos de almidón. Estas rajaduras son producidas durante el proceso de molienda del grano. Por medio de estas rajaduras el agua penetra en la estructura del almidón, lo cual permite su absorción. El granulo de almidón al absorber agua se hincha hasta reventarse y gelatinizase.

Luego se agrega una solución de acetato de buffer y enzima catalizadora. La solución de acetato de buffer tiene la función de mantener el pH de la solución mientras se lleva a cabo la reacción de hidrólisis enzimática. El pH óptimo para la reacción es de 4.8 debido a que a este pH la enzima tiene un mejor funcionamiento. La enzima utilizada es la enzima amiloglucosidasa, también conocida como glucoamilasa es una enzima hidrolítica del grupo de las amilasas; su nombre sistemático es 1,4-alfa-D-glucano glucohidrolasa. Dicha enzima cataliza la hidrólisis del almidón en los enlaces $\alpha - 1,4$ de los extremos no reductores del almidón, liberando moléculas de glucosa; también actúa sobre los enlaces $\alpha - 1,6$ con menor velocidad. Después la muestra es nuevamente sometida a un proceso térmico en baño María a 40 °C durante 4 horas, con lo cual se asegura que el almidón es convertido en su totalidad a dextrosa. Al finalizar se agrega una solución de ácido tricloroacético que cumple la función de frenar la reacción de hidrólisis al protonar los extremos de las cadenas de glucosas.

A partir de la solución anterior se tomó una muestra, la cual fue centrifugada. Al separar cualquier residuo de la solución se tomaron 2 alícuotas que fueron introducidas en el analizador bioquímico para la obtención del contenido de dextrosa g/ litro de disolución.

El dato obtenido anteriormente es utilizado en la Ecuación No. 1 (pág. 29) dando como resultado el porcentaje de almidón en harina de maíz. Esta metodología fue realizada con todas las muestras en duplicado y los datos obtenidos se pueden observar en la Tabla No. 9 (pág. 83)

Por otro lado para la determinación del porcentaje de cocción es necesario obtener el porcentaje de almidón total y porcentaje de almidón gelatinizado durante el proceso de extrusión para el producto final tipo pellet, el cual se muestra en el Diagrama No.14 (pág. 68). El porcentaje de almidón total se realiza de la misma manera que la descrita en el Diagrama No. 11. Sin embargo para la determinación del porcentaje de almidón gelatinizado durante el proceso de extrusión no se somete la muestra a un proceso térmico en autoclave.

Utilizando el analizador bioquímico se obtiene igualmente el contenido de dextrosa g/ litro de disolución. Este dato es utilizado en la Ecuación No. 2 (pág. 30) dando como resultado el porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet. Esta metodología fue realizada con todas las muestras en duplicado y los datos obtenidos se pueden observar en la Tabla No. 10 (pág.83).

Para asegurar que los datos obtenidos anteriormente fueran estadísticamente correctos se realizó una verificación parcial que incluyó la determinación de los parámetros de: exactitud, precisión, incertidumbre y límite de detección.

La exactitud se determinó por medio del sesgo con la prueba de t student. Se realizó un análisis inferencial con respecto al valor de referencia. En la Tabla No.11 (pág. 84) se puede observar la diferencia de medias obtenidas mediante la prueba de t- student, donde se obtuvo un valor de $t= 1.2967$ Al obtener un valor menor a 3.1058 (valor crítico), es posible afirmar la hipótesis nula (H_0) en un

99.5% de significancia, lo cual indicó que no se encuentra una diferencia significativa entre el valor de referencia y los valores obtenidos experimentalmente.

Para poder comprobar que estadísticamente no hubiera diferencia significativa entre lo expuesto por Frame (valor teórico) y la metodología propuesta se realizó la prueba de t- student. Los resultados son presentados en la Tabla No. 12 (pág. 84), se obtuvo un valor de $t=2.822$, el cual es menor al valor al valor crítico de 3.1058, por lo que afirma la hipótesis nula (H_0) en un 99.5% de significancia.

La precisión de las metodologías se determinó por medio de la repetibilidad por lote, la repetibilidad por día y la reproducibilidad. Para la determinación de la repetibilidad de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz se evaluaron los cuatro lotes de estudio trabajados por mismo analista. Según el criterio de aceptabilidad si los resultados se encuentran en un rango del 10 al 99 % su coeficiente de variación (CV) debe ser menor o igual a 1.5. En Tabla No. 15 (pág. 85) se muestra los resultados obtenidos de repetibilidad de los análisis realizados. Como se puede observar en dicha tabla 3 lotes poseen un CV menor a 1.5 por lo cual se puede afirmar que la metodología es repetible. Únicamente el lote 180416 posee un CV de 1.62 lo cual puede ser debido a variaciones en el proceso y se recomiendan hacer más repeticiones.

Los resultados de repetibilidad por día se muestran en la Tabla No. 16 (pág. 85), los análisis se llevaron a cabo en dos días con el mismo analista. Los CV fueron menores a 1.5 por lo que son aceptados.

La reproducibilidad se evaluó con 12 muestras, de diferentes lotes y días analizados. Según el criterio de aceptabilidad si los resultados se encuentran en un rango del 10 al 99 % su coeficiente de variación (CV) debe ser menor o igual a 3. En la Tabla No. 17 (pág. 85) se pueden observar los resultados obtenidos con un CV menor a 3 por lo cual se puede afirmar que la metodología es reproducible.

La repetibilidad también se evaluó por lote y por día para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet. La repetibilidad por lote se evaluó en los cuatro lotes trabajados por el mismo analista, en la Tabla No. 18 (pág. 85) se muestran los resultados obtenidos al ser el CV menor a 1.5 se acepta el valor de reproducibilidad por lote. Los resultados de repetibilidad por día se muestran en la Tabla No. 19 (pág. 86), fueron analizadas durante 4 días por el mismo analista, los cuales son aceptados al ser menores que 1.5. Al igual que la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz la reproducibilidad se evaluó con 12 muestras; de diferentes lotes y días analizados. Los resultados se muestran en la Tabla No. 20 (pág. 86) al ser 1.98 menor que 3, es aceptado el CV de reproducibilidad.

La incertidumbre de las metodologías se determinó por medio de dos tipos de errores; error tipo A y error tipo B. El error tipo A es aleatorio, se midió por medio de las 12 mediciones realizadas a cada metodología. El error tipo B, se determinó por medio de la incertidumbre de los equipos, cristalería e instrumentos utilizados en el desarrollo de las metodologías. Para la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz se determinaron 7 incertidumbres, las cuales se muestran en la Tabla No. 21 (pág. 86) y dieron como resultado una incertidumbre expandida de 0.98 %. Mientras que para la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet se presentan 13 incertidumbres las cuales se muestran en la Tabla No. 22 (pág. 86), dando como resultado una incertidumbre expandida de 1.71 %. La incertidumbre expandida se determinó con un factor de cobertura de $k=2$, para obtener un nivel de confianza del 95%. Al tener ambas metodologías una incertidumbre menor al 5 % se puede afirmar que son confiables.

Por último como parte de la verificación parcial se determinó el límite de detección (LD) para ambas metodologías; el cual indica la cantidad mínima de analito que puede cuantificarse por medio de la metodología con una certeza estadísticamente razonable. En la Tabla No.23 (pág. 87) se muestra que el LD en la metodología del porcentaje de almidón es de 0.023 g/ L mientras que en la

Tabla No. 24 (87) para la metodología del porcentaje de cocción el LD es de 0.015 g/ L.

Para establecer el porcentaje de almidón en harina de maíz y el porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet como parámetros de calidad se establecieron rangos de aprobación. El rango de aprobación incluye límite mínimo y límite máximo, los cuales fueron determinados por el criterio estadístico de media \pm dos veces la desviación estándar. Los resultados del porcentaje de almidón en harina de maíz se encuentran dentro del rango de aprobación el cual es de 74.98 – 80.71%. De igual forma los datos del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet se encuentran dentro del rango de aprobación de 86.03- 96.93%. Con esto se pueden establecer controles en las propiedades de la materia prima y del producto terminado; evitando variaciones entre los diferentes lotes.

Después de desarrollar las metodologías, se realizó un análisis del costo de la metodología del porcentaje de almidón aplicado en la planta procesadora de alimentos para compararlo con el costo de realizar el análisis en un laboratorio externo. En el costo únicamente se tomaron en cuenta los gastos directos; materiales y reactivos, los cuales se observan en la Tabla No. 25 (pág. 87).

Los materiales y reactivos del equipo están conformados por: Kit de membranas de glucosa, solución estándar de glucosa/ lactato, estándar de linealidad de glucosa, buffer mixto de glucosa y solución de NaCl; la empresa procesadora de alimentos indicó que estos materiales son suficientes para analizar aproximadamente 200 muestras dando como resultado un costo total de Q39.98 por muestra. Los reactivos utilizados en la metodología para realizar las soluciones son los siguientes: acetato de sodio, ácido acético glacial y ácido tricloroacético; el costo se definió según la cantidad de solución que se utilice para cada muestra dando como resultado Q4.60. El reactivo más costoso es la enzima Amilogucosidasa *Aspergillus niger*. Se utiliza en pequeñas cantidades

(100 µl) en cada muestra, sin embargo se debe preparar en el momento que se está desarrollando el análisis como mínimo 2 ml (2000 µl).

La capacidad del equipo de baño María únicamente permite evaluar 8 muestras, por lo cual el costo de preparar 2 ml de enzima se dividió en 8, dando como resultado un costo de Q29.20. Al aumentar la capacidad del equipo, se pueden realizar más análisis y el costo disminuye, aspecto que se recomendó a la planta procesadora de alimentos.

El costo total de analizar el porcentaje de almidón en una muestra de harina de maíz en el laboratorio de aseguramiento de calidad de la planta procesadora de alimentos es de Q147.56, mientras que el costo de realizarlo en el extranjero es de Q629.00 (Tipo de cambio \$7.40) El costo fue menor al realizarlo en la planta procesadora de alimentos que en el extranjero; además el tiempo de entrega de los resultados es mayor. El costo se redujo en un 426.26 % al realizar el análisis del porcentaje de almidón en el laboratorio de aseguramiento de calidad de la planta procesadora de alimentos.

XI. CONCLUSIONES

1. Las metodologías evaluadas reportaron datos que fueron comparados con datos teóricos y análisis de laboratorios certificados, en ambos casos fueron estadísticamente aceptables.
2. Por medio del análisis estadístico t-student se logró determinar que no existe diferencia significativa entre el valor de referencia y la metodología del porcentaje de almidón propuesta.
3. Se verifico parcialmente la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz siendo exacta, teniendo precisión en términos de repetibilidad por lote, repetibilidad por día y reproducible; con incertidumbre del 0.98 % y con un límite de detección de 0.023 g/ L.
4. Se definió un rango de aprobación como un parámetro de calidad, entre 74.98- 80.71 % para el porcentaje de almidón en harina de maíz.
5. Por medio del análisis estadístico t-student se logró determinar que no existe diferencia significativa entre el valor de teórico y la metodología del porcentaje de cocción propuesta.
6. Se verifico parcialmente la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz siendo exacta, teniendo precisión en términos de repetibilidad por lote, repetibilidad por día y reproducible; con incertidumbre del 1.71 % y con un límite de detección de 0.015 g/ L.
7. Se definió un rango de aprobación como un parámetro de calidad entre 86.03- 96.93 % para el porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet.
8. Se lograron implementar las metodologías del porcentaje de almidón en harina de maíz y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet, basadas en metodologías modernas.
9. Considerando los costos del análisis, es evidente una mejora económica entre el costo de realizar el análisis del porcentaje de almidón propuesto en

las instalaciones de la planta procesadora de alimentos y realizar los análisis en un laboratorio externo, que inclusive se encuentra fuera del país.

XII. RECOMENDACIONES

1. Establecer los tiempos de entrega del proveedor de enzima amiloglucosidasa, y también el inventario interno a manejar considerando dicho tiempo, debido a que el proveedor actual no cuenta con un inventario fijo en Guatemala, y deben de realizar el pedido a la fábrica, tomando estas medidas se puede evitar quedar desabastecidos e interrumpir los análisis.
2. Realizar estudios para determinar si existe una relación estadística entre el porcentaje de almidón dañado y el porcentaje de cocción del producto extruido tipo pellet. Debido a que el almidón es dañado durante el proceso de molienda y afecta la absorción que puede llegar a tener la harina de maíz.
3. Establecer un programa de rutinas de calibración para el equipo analizador bioquímico YSI 2700 SELECT, debido a que se incrementará el uso del mismo.
4. Realizar una validación de las metodologías del porcentaje de almidón en harina de maíz y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet que incluyan los siguientes criterios: selectividad, límite de cuantificación, precisión, robustez, linealidad, sensibilidad y recuperación. Para poder asegurar completamente que las metodologías aportan datos confiables.

XIII. REFERENCIAS

Association of Official Analytical Chemists. (1980). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. [Métodos Oficiales de Análisis de la Asociación Oficial de Química Analítica]. (13.^a Ed.) Washington: Association of Official Analytical Chemists.

Badui, S., (2006). Química de Alimentos, (4^a.ed.) México: Pearson Education.

Barrientos, J. (1986) Introducción a la Estadística Inferencial. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia

Berk, Z., (2013). Food Process Engineering and Technology. [Procesamiento de Alimentos Ingeniería y Tecnología]. Academic Prints, Elsevier.

Billmeyer Jr., F. (1975) Ciencia de los Polimeros. Barcelona: Editorial Reverte, S.A.

Comisión Guatemalteca de Normas. (1985). NGO34086 h8 Harina de Origen Vegetal: Determinación del Contenido de Almidón.

Contemporary Food Engineering Series. (2014). Engineering Aspects of Cereal and Cereal-Based Products. (R. d. Ferreira Guiné, & P. M. dos Reis Correia, Edits.) Boca Raton, Estados Unidos: Taylor & Francis Group.

Frame, N. (1994). The Technology of Extrusion Cooking. [La Tecnología de Cocción por Extrusión]. Reino Unido.

García, M., Quiñero, R. y López Munguía, A. (2004). Biotecnología Alimentaria. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V.

García-Villanova, B. y Guerra, E., (2010). Cap. 5 Cereales y productos derivados. En A. Gil (Ed.), Tratado de Nutrición Vol. 2 Composición y Calidad Nutritiva de Alimentos. España, Editorial Médica Panamericana.

Garrido, A., Teijón, J., Blanco, D., Villaverde, C., Mendoza, C., ... Ramirez, J. (2006) Fundamentos de Bioquímica Estructural. Madrid: Editorial Tebár.

Gil, A. (2010). Tratado de Nutrición: Composición y Calidad de los Alimentos. (2ª.ed.) Madrid: Médica Panamericana.

González, R., Drago, S., Torres, R. y De Greef, D., (2014). Extrusion Cooking of Cereal-Base Products [Cocimiento por Extrusión de Productos Elaborados a Base de Cereales]. En Ferreira, R. y Dos Reis, M. (Eds.), Engineering Aspects of Cereal and Cereal-Based Products. [Aspectos de Ingeniería de Cereales y Productos Elaborados a Base de Cereales] (pp. 269-292). Taylor & Francis Group, LLC.

Gould, W., (1996). Unit Operations For The Food Industries [Operaciones Unitarias para la Industria de Alimentos]. Maryland: CTI Publications, Inc.

Instituto de Salud Pública de Chile. (2010). Validación de Métodos y Determinación de la Incertidumbre de la Medición: Aspectos Generales Sobre la Validación de Métodos. Chile: Departamento de Salud Ambiental.

Malhotra, N. (2004) Investigación de Mercados. (Trad. Pearson Education, Inc.). (4ª.ed.) México: Pearson Education, Inc.

Melo, V. y Cuamatzi, O. (2007). Bioquímica de los Procesos Metabólicos, (2ª.ed). México: Editorial Reverté, S.A.

Moore, G., (1994). Snack food extrusión [Snacks extruidas]. En N. D. Frame (Ed.), The Technology of Extrusion Cooking [La Tecnología de la Cocción por Extrusión]. (pp. 110-143). Estados Unidos, Springer.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2007). Guía Técnica para Producción y Análisis de Almidón de Yuca. Roma

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y Organización Mundial de la Salud. (1999) Los Carbohidratos en la Nutrición Humana. Roma: Estudio FAO Alimentación y Nutrición.

Paton, D. y Spratt, W., (1981). Simulated Approach to the Estimation of Degree of Cooking of an Extruded Cereal Product. [Simulación Aproximada a la

Aproximación del Grado de Cocción de un Producto de Cereales Extruidos]. The American Association of Cereal Chemists, 58(3), 216-220

Pickering, W. (1980) Química Analítica Moderna. Nueva York: Reverté, S.A.

Real Academia Europea. (2017) Diccionario de la lengua española. Recuperado de: <http://www.rae.es/>

Schmid, W., Martínez, R. (2010). Guía para Estimar la Incertidumbre de la Medición. México: CENAM.

Sharma, S., Mulvaney S. y Rizvi S., (2014). Ingeniería de Alimentos: Operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. (Trad. M. Hernández). México: Editorial Limusa, S.A. de C.V.

Shetty, R., Lineback, D. y Seis, P. (1974) Determining the Degree of Starch Gelatinization. [Determinación del Grado de Gelatinización]. American Association of Cereal Chemists. (pp. 364-375)

Singh, R. y Heldman, D. (2009). Introduction to Food Engineering [Introducción a la Ingeniería en Alimentos]. Academic Prints, Elsevier.

Uhlig, H., (1998). Industrial Enzymes and Their Application. [Enzimas Industriales y su Aplicación]. Estados Unidos, John Wiley y Sons, Inc

Valcárcel, M. y Rios, A. (1992) La Calidad en los Laboratorios Analíticos, Barcelona: Editorial Reverté, S. A.

Vílchez, L., Guevara, A. y Encina, C. (2012). Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de maca (*Lepidium meyenii* Walp). Revista de la Sociedad Química del Perú, 78 (2)

YSI. (2009). YSI 2700 SELECT Biochemistry Analyzer User's Manual. [Manual de Usuario del Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT] Yellow Springs: YSI Incorporated.

IX. ANEXOS

9.1 Glosario

- Amorfos: sin forma regular o bien determinada. (RAE, 2017)
- Birrefringencia: o el cambio del índice de refracción con la dirección, se manifiesta como la capacidad del material para girar el plano de luz polarizada. (Billmeyer Jr., 1975)
- Cereales: planta gramínea cultivada principalmente por su grano, muy utilizado en la alimentación humana y animal, y de la que existen numerosas especies, como el trigo y la cebada. (RAE, 2017)
- Collets: son un tipo de producto extruido que tiene la característica de ser rizados. La forma se las da al ser extruidos a través de un molde rizado. (Frame, 1994)
- Grado de gelatinización: se refiere al porcentaje de la pérdida irreversible de las zonas cristalinas en los gránulos de almidón, producida al calentarse en presencia de agua. A mayor grado de gelatinización incrementar drásticamente la capacidad del almidón de ser digerido por enzimas. (FAO/OMS, 1999)
- Homopolisacárido: son polisacáridos formados por un único tipo de monosacárido. Ejemplo: almidón, glucógeno, celulosa y quitina. (Garrido, Teijón, Blanco, Villaverde, Mendoza, ... Ramirez, 2006)
- Humedad: agua de que está impregnado un cuerpo o que, vaporizada, se mezcla con el aire. (RAE, 2017)
- Temperatura: magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente, y cuya unidad en el sistema internacional es el kelvin (K). (RAE, 2017)
- Viscosidad: propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas. (RAE, 2017)

9.2 Resultados del Laboratorio Externo

Imagen No. 8: Resultados del laboratorio externo para el porcentaje de almidón en harina de maíz y producto extruido tipo pellet

Reporte Final

Medallion Labs Sample ID: 2016-MED-5797-01		Harina De Maiz Gruesa N. 2	
Customer Sample ID: 280316			
Assay Group	Test	Results	Test Date
Sample Handling Processing Level 1	Sample Process Fee	Sample Processed	04/22/16
^a Total Starch	Total Starch	78.2 %	05/02/16

9.3 Datos Originales Análisis del Porcentaje de Almidón en Harina de Maíz

Tabla No. 26: Datos originales metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Muestra	Peso (g)	Lectura Dextrosa 1 (g/L)	Lectura Dextrosa 2 (g/L)	Promedio Lectura (g/L)	% Humedad
Blanco		0.013	0.007	0.010	
1	0.5030	3.890	3.750	3.820	13.73
2	0.5079	3.760	3.750	3.755	14.18
3	0.5081	3.780	3.810	3.795	13.84
4	0.5082	3.780	3.930	3.855	13.52
5	0.5088	3.750	3.730	3.740	13.48
6	0.5031	3.830	3.770	3.800	12.97
Blanco		0.000	0.000	0.000	
7	0.5027	3.710	3.760	3.735	13.45
8	0.5022	3.860	3.780	3.820	13.32
9	0.5010	3.720	3.840	3.780	13.50
10	0.5018	3.800	3.780	3.790	13.58
11	0.5052	3.720	3.780	3.750	13.45
12	0.5075	3.640	3.810	3.725	13.61

9.4 Datos Originales Análisis del Porcentaje de Cocción en Producto Extruido Tipo Pellet

Tabla No. 27: Datos originales metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Muestra	Peso (g)	Lectura Dextrosa 1 (g/L)	Lectura Dextrosa 2 (g/L)	Promedio Lectura (g/L)	% Humedad
Blanco		0.010	0.010	0.010	
13 A	0.5099	3.81	3.79	3.80	13.73
13	0.5050	3.52	3.44	3.48	14.18
14A	0.5077	3.78	4.05	3.92	13.84
14	0.5014	3.58	3.60	3.59	13.52
15A	0.5074	3.61	3.70	3.66	13.48
15	0.5027	3.41	3.33	3.37	12.97
Blanco		0.000	0.000	0.00	
16A	0.5058	3.94	3.96	3.95	13.58
16	0.5006	3.61	3.58	3.60	13.45
17A	0.5027	3.94	3.98	3.96	13.61
17	0.5020	3.58	3.65	3.62	13.45
18A	0.5011	3.94	3.94	3.94	13.33
18	0.5033	3.57	3.63	3.60	13.50
Blanco		0.000	0.000	0.000	
19A	0.5011	3.98	3.88	3.93	12.89
19	0.5000	3.47	3.47	3.47	12.15
20A	0.5035	4.01	3.97	3.99	11.52
20	0.5022	3.54	3.54	3.54	11.79
21A	0.5000	4.02	4.02	4.02	12.95
21	0.5000	3.57	3.61	3.59	13.11
Blanco		0.000	0.002	0.000	
22A	0.5036	3.68	3.74	3.71	13.29
22	0.5033	3.46	3.43	3.45	13.18
23A	0.5007	3.63	3.59	3.61	13.14
23	0.5007	3.40	3.38	3.39	13.19
24A	0.5017	3.76	3.75	3.76	12.92
24	0.5024	3.45	3.46	3.46	13.45

*Las muestras seguidas por la letra A indican que llevaron un proceso térmico de autoclave, para determinar el almidón total. Mientras que con las otras se determinó el porcentaje de almidón gelatinizado por el proceso de extrusión por lo tanto son necesarios ambos datos para determinar el porcentaje de cocción en el producto extruido tipo pellet.

9.5 Datos Originales de la Verificación Parcial de la Metodología del Porcentaje de Almidón en Harina de Maíz

Tabla No. 28: Repetibilidad por lote de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

No. Lote	280316	180416	240416	20516
Medición A	79.02	78.74	77.26	78.66
Medición B	77.33	76.26	78.98	77.19
Medición C	77.81	77.9	78.5	76.47
Sumatoria	234.16	232.9	234.74	232.32
Media (X)	78.05	77.63	78.25	77.44
Desviación estándar (S)	0.87	1.26	0.89	1.12
Coefficiente de Variación (CV)	1.12	1.62	1.13	1.44

Tabla No. 29: Repetibilidad por día de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

	Día 1	Día 2
Medición A	79.02	77.26
Medición B	77.33	78.98
Medición C	77.81	78.50
Medición D	78.74	78.66
Medición E	76.26	77.19
Medición F	77.90	76.47
Sumatoria	467.06	467.06
Media (X)	77.84	77.84
Desviación estándar (S)	0.99	1.00
Coefficiente de Variación (CV)	1.28	1.29

Tabla No. 30: Reproducibilidad de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Medición A	79.02
Medición B	77.33
Medición C	77.81
Medición D	78.74
Medición E	76.26
Medición F	77.90
Medición G	77.26
Medición G	78.98
Medición I	78.50
Medición J	78.66
Medición K	77.19
Medición L	76.47
Sumatoria	934.12
Media (X)	77.84
Desviación estándar (S)	0.95
Coefficiente de Variación (CV)	1.22

Tabla No. 31: Incertidumbre en la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Equipo	Incertidumbre	Medición	Dimensionales
Balanza 1	0.00005	6.1	g
Balanza 2	0.00005	0.5	g
Horno	0.5	101	°C
Baño María	0.005	40	°C
Analizador bioquímico	0.005	3.78	g/L
Micro pipeta	0.1	100	mL

Tabla No. 32: Limite de detección de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz

Blanco 1	0.010
Blanco 2	0.000
Media (X)	0.005
Desviación estándar (S)	0.00707107
Límite de detección (LD)	0.02326381

9.6 Datos Originales de la Verificación Parcial de la Metodología del Porcentaje de Cocción en Producto Extruido Tipo Pellet

Tabla No. 33: Repetibilidad por lote de la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

No. de lote	110416	250416	20516	90516
Medición A	92.93	91.82	87.74	92.79
Medición B	92.49	91.25	89.22	93.96
Medición C	92.50	91.15	89.47	92.44
Sumatoria	277.93	274.21	266.43	279.19
Media (X)	92.64	91.40	88.82	93.06
Desviación estándar (S)	0.25	0.36	0.93	0.79
Coefficiente de Variación (CV)	0.27	0.40	1.05	0.85

Tabla No. 34: Repetibilidad por día de la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4
Medición A	92.94	91.82	87.74	92.79
Medición B	92.49	91.25	89.22	93.96
Medición C	92.50	91.15	89.47	92.44
Sumatoria	277.93	274.22	266.44	279.19
Media (X)	92.64	91.41	88.81	93.06
Desviación estándar (S)	0.25	0.36	0.93	0.79
Coefficiente de Variación (CV)	0.27	0.40	1.05	0.85

Tabla No. 35: Reproducibilidad de la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Medición A	91.82
Medición B	91.25
Medición C	91.15
Medición D	87.74
Medición E	89.22
Medición F	89.47
Medición G	92.79
Medición G	93.96
Medición I	92.44
Medición J	92.94
Medición K	92.49
Medición L	92.50
Sumatoria	1097.78
Media (X)	91.48
Desviación estándar (S)	1.82
Coficiente de Variación (CV)	1.99

Tabla No. 36: Incertidumbre en la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Equipo	Incertidumbre	Medición	Dimensionales
Balanza 1	0.00005	6.1	g
Balanza 2	0.00005	6.1	g
Balanza 3	0.00005	0.5	g
Balanza 4	0.00005	0.5	g
Horno 1	0.5	101	°C
Horno 2	0.5	101	°C
Baño María 1	0.005	40	°C
Baño María 2	0.005	40	°C
Analizador bioquímico 1	0.005	3.85	g/L
Analizador bioquímico 2	0.005	3.51	g/L
Micro pipeta 1	0.1	100	mcl
Micro pipeta 2	0.1	100	mcl

Tabla No. 37: Limite crítico de la metodología del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Blanco 1	0.0100
Blanco 2	0.0000
Blanco 3	0.0000
Blanco 4	0.0010
Media (X)	0.0028
Desviación estándar (S)	0.00485627
Límite de detección (LD)	0.01597712

9.7 Costo de la Metodología del Porcentaje de Almidón

Tabla No. 38: Costo de materiales y reactivos del equipo

Nombre	Cantidad	Unidades del empaque	Costo unitario (Q)	Costo total (Q)	No. de muestras	Costo por alícuota (Q)
YSI Kit membranas de glucosa	2	4	1551.48	3102.96		
YSI Solución estándar de glucosa/Lactato	3	1	790.72	2372.16		
YSI Estándar de linealidad de glucosa	1	1	731.08	731.08		
YSI Buffer mixto de glucosa y proteínas	2	8	775.80	1551.6		
Solución de NaCl	1	1	238.56	238.56		
TOTAL				7996.36	200	39.98

*Se asumió que los materiales y reactivos son suficientes para realizar 200 análisis.

Tabla No. 39: Costo de reactivos para buffer de acetato de sodio

Nombre	Tamaño del empaque	Costo total (Q)	Cantidad requerida para 1L	Costo parcial (Q)	Cantidad que se produce (ml)	Cantidad necesaria por muestra (ml)	No. de muestra	Costo por muestra (Q)
Acetato de sodio	250 g	275.24	18.2 g	20.04				
Ácido acético glacial	1000 ml	371.90	44.6 ml	16.59				
Buffer de acetato de sodio				36.62	1000	10	100	0.37

Tabla No. 40: Costo de reactivos para solución de ácido tricloroacético

Nombre	Tamaño del empaque (g)	Cantidad	Costo unitario (Q)	Costo Total (Q)	Cantidad Requerida para 1L (g)	Costo Parcial (Q)	Cantidad que se Produce (ml)	Cantidad Necesaria por Alícuota (ml)	No. de Alícuotas	Costo por Alícuota (Q)
Ácido tricloroacético	250	2	635.04	1270.08	333.3	846.64				
Solución de ácido tricloroacético							1000	5	200	4.23









Tabla No. 41: Costo de reactivos para solución de amiloglucosidasa


Nombre	Tamaño del empaque (g)	Costo total (Q)	Cantidad requerida para 2ml de solución de enzima (g)	Costo parcial (Q)	Costo por muestra (Q)	No. de muestras
Amiloglucosidasa Aspergillus Niger	1	2920.00	0.08	233.60	29.2	8

9.8 Desarrollo de las Metodologías

Tabla No. 42: Desarrollo de la metodología del porcentaje de almidón en harina de maíz y porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

Descripción	Imagen
Pesaje de muestra	
Agregar agua a la muestra	
Muestra después de 1 hora en autoclave	
Adición de solución de acetato de buffer	

Descripción	Imagen
Enzima amiloglucosidasa	
Adición de agua a la enzima amiloglucosidasa	
Solución de enzima amiloglucosidasa	
Baño María utilizado en la metodología	
Muestras en baño María	
Muestras después de 4 horas en baño María	
Preparación de soluciones a partir de las muestras	
Muestras después de centrifugar	

Descripción	Imagen
Equipo utilizado para cuantificación de dextrosa	
Carrusel donde se colocan las alícuotas de muestra para ser analizadas	

Fuente: elaboración propia (201)

9.9 Cálculos de Muestra

3.3.2 9.9.1 Determinación del porcentaje de almidón en harina de maíz

$$\% \text{ Almidón total} = \frac{0.9 (LDT - LB)}{PBS * V}$$

LDT= lectura de dextrosa en el Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

LB= lectura del blanco en el Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

PBS= peso de la muestra en base seca

V= volumen total de la dilución de la muestra

$$\% \text{ Almidón total} = \frac{0.9 (3.820 \frac{\text{g dextrosa}}{\text{L disolución}} - 0.010 \frac{\text{g dextrosa}}{\text{L disolución}})}{0.434 \text{ g muestra} * 0.1 \text{ l disolución}} = \mathbf{79.02 \% \text{ de almidón}}$$

LDT= 3.820 g dextrosa/ L disolución

LB= 0.010 g dextrosa/ L disolución

PBS=0.434 g muestra

V= 0.1 L disolución

3.3.3 9.9.2 Determinación del porcentaje de cocción en producto extruido tipo pellet

$$\% \text{ Almidón total} = \frac{0.9 (LDT - LB)}{PBS * V}$$

LDT= lectura de dextrosa en el Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

LB= lectura del blanco en el Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

PBS= peso de la muestra en base seca

V= volumen total de la dilución de la muestra

$$\% \text{ Almidón total} = \frac{0.9 (3.80 \frac{\text{g dextrosa}}{\text{L disolución}} - 0.010 \frac{\text{g dextrosa}}{\text{L disolución}})}{0.44 \text{ g muestra} * 0.1 \text{ l disolución}} = \mathbf{77.5 \% \text{ de almidón total}}$$

LDT= 3.80 g dextrosa/ L disolución

LB= 0.010 g dextrosa/ L disolución

PBS=0.44 g muestra

V= 0.1 L disolución

$$\% \text{ Almidón Gelatinizado} = \frac{0.9 (LDG-LB)}{PBS*V}$$

LDG= lectura de dextrosa en el Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

LB= lectura del blanco en el Analizador bioquímico YSI 2700 SELECT

PBS= peso de la muestra en base seca

V= volumen total de la dilución de la muestra

$$\% \text{ Almidón Gelatinizado} = \frac{0.9 (3.48 \frac{\text{g dextrosa}}{\text{L disolución}} - 0.01 \frac{\text{g dextrosa}}{\text{L disolución}})}{0.43 \text{ g muestra} * 0.1 \text{ l disolución}} =$$

72.62 % *almidón gelatinizado*

LDG= 3.48 g dextrosa/ L disolución

LB= 0.010 g dextrosa/ L disolución

PBS= 0.43 g muestra

V= 0.1 L disolución

Al tener el Porcentaje de Almidón total y el Porcentaje de almidón gelatinizado se aplica la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Porcentaje de Cocción} = \frac{72.63\% \text{ almidón gelatinizado}}{77.5\% \text{ almidón total}} = \mathbf{93.7\% \text{ de cocción}}$$