

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DE ALIMENTOS



DESARROLLO DE UN PAN DULCE ENRIQUECIDO CON
HARINA DE GERMINADO DE TRIGO (*Triticum aestivum*
AN-91-98).

POR:
MARIANA SALAS GAONA

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:
INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO; NOVIEMBRE DEL 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TESIS

DESARROLLO DE UN PAN DULCE ENRIQUECIDO CON HARINA DE GERMINADO DE TRIGO
(*Triticum aestivum AN-91-98*)

Presentada por:

MARIANA SALAS GAONA

Que ha sido aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

El presente trabajo ha sido asesorado y aceptado de acuerdo al artículo 89 del Reglamento Académico para Alumnos de Licenciatura por el siguiente comité asesor:

M.E. Laura Olivia Fuentes Lara

ASESOR PRINCIPAL

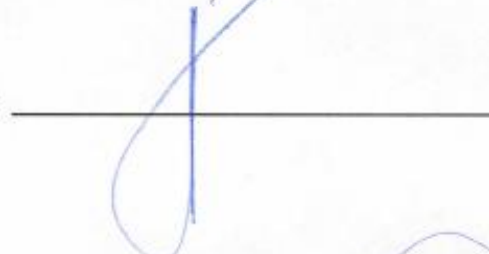
DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL



Dr. Adalberto Benavides Mendoza

COASESOR

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



M.C. Myrna Julieta Ayala Ortega

COASESOR

DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



Dr. Antonio Francisco Aguilera Carbó

COASESOR

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN ANIMAL



SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO; NOVIEMBRE DE 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

TESIS

**DESARROLLO DE UN PAN DULCE ENRIQUECIDO CON HARINA DE GERMINADO DE TRIGO
(*Triticum aestivum* AN-91-98).**

Presentada por:

MARIANA SALAS GAONA

Que se somete a consideración de H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS



M.E. Laura Olivia Fuentes Lara

PRESIDENTE



Dr. Adalberto Benavides Mendoza

VOCAL



M.C. Myrna Julieta Ayala Ortega

VOCAL



Dr. José Duñez Alanís

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO; NOVIEMBRE DE 2017.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL
PROGRAMA DOCENTE DE INGENIERÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE
ALIMENTOS

TESIS

**DESARROLLO DE UN PAN DULCE ENRIQUECIDO CON HARINA DE
GERMINADO DE TRIGO (*Triticum aestivum* AN-91-98)**

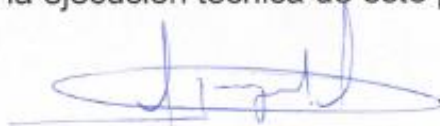
Presentada por:

MARIANA SALAS GAONA

Que ha sido aprobada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Con la participación en la ejecución técnica de este proyecto de investigación:



T.L.Q. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel

SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO; NOVIEMBRE DE 2017.

**“Sólo el amor a lo que hacemos transforma la esclavitud
en libertad”**

Paulo Coelho

El vencedor está solo

DEDICATORIA:

El presente trabajo va dedicado a todas las personas que creyeron en mí, que me incentivaron y apoyaron cuando creía que no podría terminar a tiempo.

A todas aquellas personas que me animaron a continuar estudiando esta maravillosa profesión. Hoy les agradezco por hacerme ver que aun cuando no fuese mi pasión inicial, se ha convertido en una sed insaciable por conocer más a fondo sobre los alimentos.

Dios los bendiga a todos.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

“Nada te turbe, nada te espante, todo se pasa, Dios no se muda, la paciencia todo lo alcanza; quien a Dios tiene nada le falta, sólo Dios basta.

Eleva el pensamiento, al cielo sube, por nada te acongojes, nada te turbe. A Jesucristo sigue con pecho grande, y venga lo que venga, nada te espante. ¿Ves la gloria del mundo? Es la gloria vana; nada tiene de estable, todo se pasa. Aspira a lo celeste, que siempre dura; fiel y rico en promesas, Dios no se muda.

Ámalo cual merece bondad inmensa; pero no hay amor fino sin la paciencia. Confianza y fe viva mantenga el alma, que quien cree y espera todo lo alcanza. Del infierno acosado aunque se viere, burlará sus furores quien a Dios tiene. Véngale desamparos, cruces, desgracias; siendo Dios su tesoro, nada le falta. Id, pues, bienes del mundo; id, dichas vanas, aunque todo lo pierda, sólo Dios basta” (Santa Teresa de Jesús).

A MIS PADRES:

Quienes me guiaron en este camino, su aliento, apoyo, comprensión y amor absoluto. Porque aun cuando no comprendía sus acciones me fueron criando para ser la mujer que soy actualmente.

Les estaré agradecida por soportar mis reclamos y reproches, por hacerme una mujer segura, responsable e independiente.

Gracias padres por darme la seguridad cuando no la tenía, levantarme en todas mis caídas, escucharme cuando nadie más lo hacía, en fin, gracias por darme la vida, los amo.

A MI HERMANA:

Querida hermana, como las ramas de un árbol, crecemos en diferentes direcciones, pero nuestra raíz es una sola. Así la vida de cada una siempre será una parte esencial de la vida de la otra.

Gracias por estar ahí cuando me siento sola, por sacarme de la oscuridad en la que a veces me encuentro, por brindarme tu apoyo sin importar lo demás. Te amo.

A MI TÍA ANA:

Mi tía adoptiva, la mejor amiga de mi mamá y casi su hermana, gracias Ana por estar para mí cuando te necesitaba, por llenar mi mente de una visión más amplia.

Gracias Ana por tu fe, tu cariño y tu confianza, por seguir mis logros y aconsejarme cuando me encontraba confundida, pero sobre todo eso, te agradezco por fomentar en mí la idea de que todo es posible. Te quiero.

A MI MADRINA:

Quien me ha apoyado en esa etapa espiritual pero también en la académica, agradezco tanto haberle tenido en este camino largo y decisivo; su orientación, comprensión y atención me ayudaron, y animaron a seguir prosperando en un futuro el cual no creí tener cabida. Te quiero madrina.

A MI ABUELITA:

Mi fan número uno, la persona que está más orgullosa que yo de que entrará estudiar en la U.A.A.N. Gracias por su apoyo, por tener fe en mí y sobre todo eso, le agradezco su amor incondicional. La amo abuelita. ¡Sí se pudo!

A MI ASESORA:

Maestra, yo le estoy muy agradecida por que usted tuvo confianza en mí aún sin conocerme, me apoyó y explicó con paciencia. Gracias maestra, por incentivar me y dedicarme su tiempo, esfuerzo y atención. Espero me recuerde con cariño, yo a usted la recordaré con respeto y admiración.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE CUADROS	11
ÍNDICE DE GRÁFICOS	12
RESUMEN.....	13
1 INTRODUCCIÓN.....	14
1.1 JUSTIFICACIÓN	15
1.2 HIPÓTESIS.....	16
1.3 OBJETIVO GENERAL	16
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	17
2.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO.....	17
2.1.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD O MATERIA SECA TOTAL	17
2.1.2 MÉTODO DE SECADO EN ESTUFA	18
2.1.3 CENIZAS O MATERIA ORGÁNICA	19
2.1.4 LÍPIDOS O GRASA BRUTA	20
2.1.5 MÉTODO SOXHLET	21
2.1.6 PROTEÍNA BRUTA	21
2.1.7 MÉTODO KJELDAHL.....	22
2.1.8 HIDRATOS DE CARBONO	23
2.1.9 FIBRA CRUDA.....	24
2.1.10 AZÚCARES TOTALES.....	25
2.1.11 FENOLES.....	26
2.1.12 CONTENIDO CALÓRICO	26
2.2 GENERALIDADES DEL TRIGO PARA PANIFICACIÓN	27
2.3 CUALIDADES DE LA HARINA DE TRIGO	29
2.4 PROCESO DE PANIFICACIÓN	30
2.5 PRODUCTOS DE BOLLERÍA Y REPOSTERÍA:.....	31
2.6 GENERALIDADES DE LA GERMINACIÓN	31
2.7 GENERALIDADES DE LA COLA DE CABALLO MENOR (<i>Equisetum arvense</i>)	33
2.8 GENERALIDADES DE LA MIEL DE MAGUEY (<i>Agave tequilana weber</i>).....	34
3 METODOLOGÍA	36
3.1 LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL	36
3.2 MATERIA PRIMA UTILIZADA	36
3.3 MATERIALES UTILIZADOS	36
3.4 EQUIPOS UTILIZADOS	39

3.5 REACTIVOS UTILIZADOS.....	40
3.6 ETAPA 1- ACONDICIONAMIENTO DEL GRANO	40
3.6.1 SOLUCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 5%.....	40
3.6.2 SOLUCIÓN DE COLA DE CABALLO (<i>Equisetum arvense</i>).....	40
3.6.3 LIMPIEZA DEL GRANO	42
3.7 ETAPA 2- GERMINACIÓN DEL GRANO Y OBTENCIÓN DE LA HARINA	44
3.8 ETAPA 3: FORMULACIÓN Y DESARROLLO DEL PAN DULCE	46
3.9 ETAPA 4- CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA TORTILLA.....	49
3.9.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA SU ANÁLISIS	50
3.9.2 DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA TOTAL (HUMEDAD).....	51
3.9.3 DETERMINACIÓN DE CENIZAS TOTALES	52
3.9.4 DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO O GRASA POR EL MÉTODO SOXHLET	53
3.9.5 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA POR MÉTODO KJELDHAL	55
3.9.5.1 DIGESTIÓN.....	55
3.9.5.2 DESTILACIÓN	56
3.9.5.3 VALORACIÓN	57
3.9.6 DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA	59
3.9.7 DETERMINACIÓN DE AZÚCARES TOTALES POR MÉTODO FENOL SULFÚRICO	60
3.9.7.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	60
3.9.7.2 REALIZACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR PARA AZÚCARES TOTALES	61
3.9.7.3 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR AZÚCARES TOTALES	61
3.9.8 DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES POR MÉTODO FOLIN CIOCALTEU	62
3.9.8.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA	62
3.9.8.2 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE FENOLES	63
3.9.8.3 ELABORACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR PARA FENOLES TOTALES.....	63
3.10 DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS (EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO)....	65
3.11 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO CALÓRICO (Kcal/100g).....	65
4 RESULTADOS.....	66
4.1 HUMEDAD Y MATERIA SECA TOTAL	67
4.2 CENIZA TOTAL.....	68
4.3 EXTRACTO ETÉREO O GRASA TOTAL	69
4.4 FIBRA CRUDA.....	71
4.5 PROTEÍNA CRUDA	73
4.6 EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (CARBOHIDRATOS).....	74
4.7 CONTENIDO CALÓRICO	76
4.8 AZÚCARES TOTALES	77
4.9 FENOLES.....	79
5 CONCLUSIONES.....	81
6 REFERENCIAS.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema Soxhlet.....	21
Figura 2. Método Kjeldahl.....	23
Figura 3. Estructura del grano de trigo.....	27
Figura 4. Esquema de la germinación de un grano de trigo.....	33
Figura 5. Cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i>).	34
Figura 6. Maguey (<i>Agave tequilana weber</i>), agua miel y miel de maguey.....	35
Figura 7. Cola de caballo en trozos.	41
Figura 9. Grano de trigo (<i>Triticum aestivum</i> . AN-91-98).....	42
Figura 10. Grano de trigo en agitación constante.	43
Figura 11. Grano de trigo después de su lavado y enjuague.	43
Figura 12. Colocación del grano de trigo lavado en los contenedores de plástico.....	44
Figura 13. Proceso de germinación del grano de trigo (<i>Triticum aestivum</i> . AN-91-98).	45
Figura 14. Germinado de trigo antes de secarse y después de 24 horas en la estufa de.....	46
Figura 15. Mezcla de testigo vs mezcla a la que se le añadió H.G.T.....	48
Figura 16. Capacillos con mezcla de testigo antes de hornear junto a los panes horneados.	49
Figura 17. Panes elaborados con las cuatro formulaciones establecidas.....	49
Figura 18. Charolas de aluminio con cada una de las cuatro muestras secas.....	50
Figura 19. Mortero en el cual se realizó la molienda de los panes.	51
Figura 20. Incineración de las muestras en una parrilla (LABCONCO).	53
Figura 21. Aparato Soxhlet.	54
Figura 22. Cambio de color de las muestras durante la digestión en parrillas de aparato Kjeldhal.....	56
Figura 23. Parte destiladora del aparato Kjeldhal.....	57
Figura 24. Valoración del destilado con ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄) al 0.1025641 N... ..	58
Figura 25. Digestor Labconco con vasos de Berzelius instalados.....	59

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Materiales utilizados en la germinación.....	36
Cuadro 2. Materiales utilizados en elaboración del pan dulce.....	37
Cuadro 3. Materiales utilizados durante la determinación de cenizas y M.S.T.	37
Cuadro 4. Materiales utilizados durante la determinación de proteína.	37
Cuadro 5. Materiales utilizados durante la determinación de grasa.....	37
Cuadro 6. Materiales utilizados durante la determinación de fibra.....	38
Cuadro 7. Materiales utilizados durante la determinación de azúcares totales por método fenol sulfúrico.....	38
Cuadro 8. Materiales utilizados durante la determinación de fenoles totales por método Folin Ciocalteu.....	38
Cuadro 9. Equipos utilizados.	39
Cuadro 10. Reactivos utilizados.....	40
Cuadro 11. Formulaciones de los panes.....	47
Cuadro 12. Preparación de la curva estándar.....	61
Cuadro 13. Procedimiento para curva estándar de ácido gálico.	64
Cuadro 14. Comparación de medias de las variables de estudio en cuanto al tipo de harina.....	66
Cuadro 15. Comparación de medias de las variables de estudio en las diferentes formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).	67
Cuadro 16. Resultados de medias de las variables MST y H.....	67

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Curva estándar para azúcares totales.....	62
Gráfico 2. Curva estándar para fenoles totales.	64
Gráfico 3. Comparación de medias de ceniza total de acuerdo al tipo de harina..	68
Gráfico 4. Comparación de medias de ceniza total de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).....	69
Gráfico 5. Comparación de medias de grasa total de acuerdo al tipo de harina..	70
Gráfico 6. Comparación de medias de grasa total de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).....	70
Gráfico 7. Comparación de medias de fibra cruda de acuerdo al tipo de harina...	71
Gráfico 8. Comparación de medias de fibra cruda de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).....	72
Gráfico 9. Comparación de medias de proteína cruda de acuerdo al tipo de harina.	73
Gráfico 10. Comparación de medias de proteína cruda de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).	74
Gráfico 11. Comparación de medias de extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) de acuerdo al tipo de harina.	75
Gráfico 12. Comparación de medias de extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).	75
Gráfico 13. Comparación de medias del contenido calórico de acuerdo al tipo de harina.....	76
Gráfico 14. Comparación de medias del contenido calórico de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).	77
Gráfico 15. Comparación del contenido de azúcares totales de acuerdo al tipo de harina.....	78
Gráfico 16. Comparación del contenido de azúcares totales de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).	78
Gráfico 17. Comparación del contenido de fenoles de acuerdo al tipo de harina.	79
Gráfico 18. Comparación del contenido de fenoles de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).....	80

RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación fue realizado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, con la finalidad de realizar harina del grano germinado de trigo (*Triticum aestivum AN-91-98*) e implementarla en la elaboración de un pan dulce, para de esta manera determinar cuál es el aporte nutricional que ésta da a un alimento.

Se determinaron las concentraciones a utilizar en cada una de las formulaciones de mezcla para pan dulce, siendo éstas: testigo, el cual no contenía harina de germinado de trigo (H.G.T), 5% de H.G.T, 15% de H.G.T y 25% de H.G.T

Se realizaron los análisis químicos correspondientes para determinar: ceniza total, fibra cruda, extracto etéreo, proteína cruda, azúcares totales, fenoles, ELN (carbohidratos) y contenido calórico.

Determinando que la formulación al 25% de H.G.T presentó los mejores resultados para las variables estudiadas (ceniza total 4.45%, extracto etéreo 10.57%, fibra cruda 2.95%, proteína cruda 14.71%, ELN 67.30%, fenoles 0.457 mg/g y contenido calórico 421.66 Kcal/100g).

Palabras clave: germinados, trigo, harina, pan dulce.

Correo electrónico: Mariana Salas Gaona

anaturque@gmail.com

1 INTRODUCCIÓN

Los cereales son un grupo de plantas cultivadas pertenecientes a la familia de las gramíneas, cuyos granos son de fácil recolección por la estructura y disposición de su inflorescencia; una vez maduros, conservan durante largo tiempo sus cualidades y valor alimenticio. Constituyen un alimento energético rico en calorías que es consumido por el hombre, siendo en muchos casos su alimentación básica. Los primeros cereales cultivados han sufrido profundas transformaciones bajo la influencia de la selección continua, ejercida por el hombre durante milenios (López Bellido, 1990).

Algunas de las transformaciones que el hombre ha ejercido sobre los cereales son los germinados o brotes, que son alimentos mejorados en nutrientes en relación con el mismo alimento sin germinar, muy beneficiosos para la salud. En muchos países del mundo el consumo de germinados es muy común; en otros no es tan frecuente ni se conocen sus propiedades y en algunos se están conociendo recientemente; sin embargo, la germinación como fuente de alimentos, es uno de los procesos más antiguos usado desde hace siglos (Ponce de León *et al.*, 2011).

El trigo, cuyo cultivo se remonta probablemente a los días prehistóricos, es el cereal que presenta mayor importancia. Puede desarrollarse en casi todos los terrenos y en cualquier clima templado, siendo por ello uno de los más cosechados (Kent y Amos, 1956).

El género *Triticum* comprende alrededor de 30 tipos de trigo que tienen suficientes diferencias genéticas como para ser considerados especies distintas o subespecies. De ellos, aproximadamente la mitad se ha cultivado o se cultiva en alguna parte del mundo y el resto son silvestres. El *Triticum aestivum*, trigo común o harinero es, con diferencia, la especie más cultivada y de mayor importancia económica, le sigue el *Triticum turgidum*, y en particular su principal subespecie *Triticum turgidum durum*, trigo duro o semolero, que se cosecha ampliamente en zonas áridas del mundo (López Bellido, 1990).

El trigo duro posee mayor contenido proteico y se emplea para la preparación de semolina y pasta, mientras que los trigos blandos se emplean para elaborar harina de pan blanco y pastelería. Desde el punto de vista nutritivo, la principal importancia del pan radica en su aporte energético en forma de hidrato de carbono; junto a ello se debe destacar su

contribución de alrededor de un 8% de proteínas. Esto le convierte en un importante, barato y equilibrado proveedor de proteínas para la dieta (Astiasarán y Martínez, 2000).

Por su bajo contenido graso el pan no es un alimento que engorde y, de hecho en algunas ocasiones, se ha utilizado como base de algunas dietas de adelgazamiento. El pan es una fuente importante de fibra. Aunque los panes integrales son los que aportan mayor contenido de fibra, el pan común también posee cantidades no despreciables. En este sentido hay que considerar que parte del almidón se transforma en no digerible durante el procesamiento y la cocción, por lo que actúa como fibra (Astiasarán y Martínez, 2000).

1.1 JUSTIFICACIÓN

La proporción de alimento energético suministrado por los cereales en la dieta humana varía desde el 25% en los países más desarrollados hasta el 80-90% en los países más pobres, que utilizan bajas cantidades de otros alimentos. En estos últimos los cereales representan un papel esencial en la dieta, cubriendo las necesidades energéticas, aunque no satisfacen por completo las necesidades de proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas y sales minerales. Se admite que una dieta cubra el 90% de las necesidades de nitrógeno, bajo la forma de pan de trigo, y el 10% restante en forma de frutas y legumbres mantendría el equilibrio proteico requerido para un hombre adulto (López Bellido, 1990).

El consumo de los cereales por el hombre es, sobre todo, a base de harina, sometiendo los preparados a cocción. Uno de los cereales más empleados en la alimentación humana es el trigo, el cual se transforma mediante un proceso industrial que se denomina molienda y que consiste en la separación o fraccionamiento de la harina, del resto de los componentes del grano (López Bellido, 1990).

Considerando que la dieta de un hombre adulto normalmente cubre el 90% de las necesidades de nitrógeno bajo la forma de pan de trigo, se ha recurrido a la técnica de germinación para desarrollar el contenido proteico del grano de trigo harinero (*Triticum aestivum*. AN-91-98), como uno de los propósitos específicos de la presente tesis. Así mismo se realizaron diferentes formulaciones con harina proveniente del grano germinado de trigo a distintas concentraciones, para de esta manera obtener un

comparativo del desarrollo nutrimental que se obtuvo al integrar esta harina como un constituyente en la receta de un pan dulce.

1.2 HIPÓTESIS

La adición de harina de germinado de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98) a diferentes concentraciones en la formulación y elaboración de pan dulce modificará su contenido de proteína, grasas y fibra, en comparación con un pan dulce elaborado con harina de trigo comercial.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Elaborar pan dulce enriquecido con harina de germinado de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98) en diferentes concentraciones, con el fin de realizar una caracterización físico-química del mismo y comparar sus cualidades nutricionales con las de un pan dulce elaborado con harina de trigo comercial.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener la mayor cantidad de granos de trigo germinados con la menor contaminación posible.
- Determinar las características físico-químicas de la harina de germinado de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98).
- Realizar una comparación entre el contenido nutricional de la harina de germinado de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98) y la harina de trigo comercial.
- Comprobar que la adición de harina de germinado de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98) en la elaboración de un pan dulce modificará su contenido de proteína en comparación con la harina de trigo comercial.
- Comprobar que la adición de harina de germinado de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98) en la elaboración de un pan dulce modificará su contenido de grasas en comparación con la harina de trigo comercial.
- Comprobar que la adición de harina de germinado de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98) en la elaboración de un pan dulce modificará su contenido de fibra en comparación con la harina de trigo comercial.

- Comprobar que la adición de harina de germinado de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98) en la elaboración de un pan dulce modificará su contenido de carbohidratos en comparación con la harina de trigo comercial.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

Implica la caracterización de los alimentos desde el punto de vista físico-químico, haciendo énfasis en la determinación de su composición química, es decir, cuales sustancias están presentes en un alimento (proteínas, grasas, vitaminas, minerales, hidratos de carbono, contaminantes metálicos, residuos de plaguicidas, toxinas, antioxidantes, entre otros) y en qué cantidades estos compuestos se encuentran. El análisis físico-químico brinda poderosas herramientas que permiten caracterizar un alimento desde el punto de vista nutricional y toxicológico, constituye una disciplina científica de enorme impacto en el desarrollo de otras ciencias como la bioquímica, la medicina y las ciencias farmacéuticas, por solo mencionar algunas (Zumbado, 2004).

2.1.1 DETERMINACIÓN DE HUMEDAD O MATERIA SECA TOTAL

Los ensayos de las humedades pueden ser uno de los análisis más importantes llevados a cabo sobre un producto alimentario y uno de los más difíciles a la hora de obtener datos exactos y precisos. La materia que permanece después de la separación de las humedades, se conoce como sólidos totales. Este valor analítico es de gran importancia económica para un fabricante de alimentos, puesto que el agua es un relleno económico.

La facilidad en la eliminación del agua de los alimentos depende de cómo se encuentre presente ésta en el producto alimentario. Los tres estados del agua en los productos alimentarios son:

El agua libre: Esta agua conserva sus propiedades físicas y, en consecuencia, actúa como agente dispersante para los coloides y como disolvente para las sales.

El agua adsorbida: Esta agua está firmemente sujeta a las proteínas del alimento.

El agua de hidratación: Esta agua se encuentra enlazada químicamente.

Dependiendo de la forma en que se presente el agua en el alimento, el método utilizado para la determinación de la humedad puede medir una parte mayor o menor de la humedad (Nielsen, 2003).

En el trigo este índice presenta en primer lugar un interés tecnológico, pues de él depende la necesidad de referir todos los resultados de los análisis a una base fija, que se expresa bien en materia seca o en un contenido de agua estándar. El valor comercial, y en definitiva, el precio del trigo, dependen también de su contenido de humedad, existiendo grandes diferencias económicas según el grado o porcentaje de humedad del grano. Por último, desde el punto de vista reglamentario, hay unos límites máximos de humedad establecidos, tanto para la buena conservación del grano como para las transacciones comerciales, que no deben sobrepasarse (López Bellido, 1990).

2.1.2 MÉTODO DE SECADO EN ESTUFA

Los métodos de secado son los más comunes para valorar el contenido de humedad en los alimentos; se calcula el porcentaje en agua por la pérdida de peso debida a su eliminación por calentamiento bajo condiciones normalizadas. Aunque estos métodos dan buenos resultados que pueden interpretarse sobre bases de comparación, es preciso tener presente que:

- a) Algunas veces es difícil eliminar por secado toda la humedad presente.
- b) A cierta temperatura el alimento es susceptible de descomponerse, con lo que se volatilizan otras sustancias además de agua.
- c) También pueden perderse otras materias volátiles aparte de agua.

La determinación de secado en estufa se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Para esto se requiere que la muestra sea térmicamente estable y que no contenga una cantidad significativa de compuestos volátiles.

El principio operacional del método de determinación de humedad utilizando estufa y balanza analítica, incluye la preparación de la muestra, pesado, secado, enfriado y pesado nuevamente de la muestra (Nielsen, 2003).

2.1.3 CENIZAS O MATERIA ORGÁNICA

El término cenizas se refiere al residuo inorgánico que permanece, bien sea después de la calcinación o bien tras la oxidación completa de la materia orgánica de un combustible. Se emplean dos tipos principales de calcinación:

La calcinación por vía seca: Se refiere a la utilización de un horno de mufla, capaz de mantener temperaturas de 500-600 °C. El agua y los componentes volátiles se vaporizan y las sustancias orgánicas son incineradas en presencia del oxígeno del aire, para dar CO₂ y óxido de nitrógeno.

La calcinación por vía húmeda: Es un procedimiento para oxidar las sustancias orgánicas mediante el uso de ácidos y agentes oxidantes o bien de sus combinaciones. Se solubilizan los elementos inorgánicos sin ocasionar su volatilización.

El contenido de cenizas de los alimentos puede ser expresado bien sea sobre la base del peso en húmedo (tal como se ha recibido) o bien del peso en seco (Nielsen, 2003).

En el trigo, las cenizas representan el contenido en sales minerales del trigo o de la harina, expresado en porcentaje. El conocimiento de las materias minerales y más concretamente del nivel de cenizas, es de gran importancia en la industria harinera y semolera, debido a su relación con la calidad y el rendimiento de harina o sémola, que será mayor a medida que el porcentaje de cenizas sea más bajo. El contenido medio de cenizas del grano de trigo es alrededor del 1.8% sobre la materia seca.

Las zonas externas del grano y las capas periféricas del endospermo son las que tienen mayor proporción de sales minerales. En el contenido en materias minerales del grano y de la harina influyen factores genéticos, edafológicos (naturaleza del suelo y disponibilidad de nutrientes), climáticos (insolación y humedad), agronómicos (abonados, densidad de siembra y cultivo anterior), fisiológicos (estado de maduración del grano en la recolección y enfermedades) y los tratamientos tecnológicos (acondicionamiento del

grano antes de la molienda y el rendimiento de extracción de harina o sémola) (López Bellido, 1990).

2.1.4 LÍPIDOS O GRASA BRUTA

Los lípidos son un grupo de sustancias que, en general, son solubles en éter, cloroformo y otros disolventes orgánicos, pero que son escasamente solubles en agua. El término “lípidos” se refiere, habitualmente, al amplio conjunto total de moléculas alimentarias que cumplen la definición enunciada previamente. Generalmente, las grasas se refieren a aquellos lípidos que son sólidos a temperatura ambiente y los aceites se refieren, en general, a aquellos líquidos a temperatura ambiente (Nielsen, 2003).

Los granos de cereales contienen cantidades relativamente pequeñas de lípidos. Los lípidos se almacenan preferentemente en el germen, que en el caso del trigo sirve como fuente para la producción de aceite. Por ello, al fabricar la harina hay que separar el germen del endospermo para evitar, o al menos disminuir, las reacciones de alteración de los lípidos al ponerse en contacto con las lipasas presentes en otras zonas del grano.

Los lípidos más abundantes en los cereales son los glicéridos de ácidos grasos, aunque también contienen fosfolípidos y glicolípidos. Así, en el trigo, el germen y la capa de aleurona son ricos en triglicéridos; estos lípidos del trigo influyen de manera importante en la panificación, en la medida en que algunos estén unidos al almidón.

Como componentes menores de la fracción lipídica de los cereales, se encuentran los carotenoides y los tocoferoles. La harina de trigo tiene un contenido de carotenoides del orden de 5.7 mg/kg. En los trigos duros que tienen un color amarillo más intenso, el contenido de carotenoides es algo mayor, del orden de 7.3 mg/kg de harina. El más abundante es la luteína libre o esterificada con ácidos grasos, pero también se encuentra β -caroteno, β -apocarotenal, criptoxantina, zeaxantina y antheraxantina (Astiasarán y Martínez, 2000).

2.1.5 MÉTODO SOXHLET

El método Soxhlet realiza una extracción semicontinua con disolvente, éste se acumula en la cámara de extracción durante 5-10 minutos y rodea completamente la muestra; a continuación, retorna por efecto de sifón al matraz de ebullición. El contenido de grasas se determina por medio de la pérdida de peso de la muestra, o bien por el peso de las grasas extraídas.

Este método proporciona un efecto de empapado de la muestra; sin embargo requiere más tiempo que el método continuo. A menudo el método Soxhlet se considera como el método de referencia, conforme al cual se evalúan los demás (Nielsen, 2003).

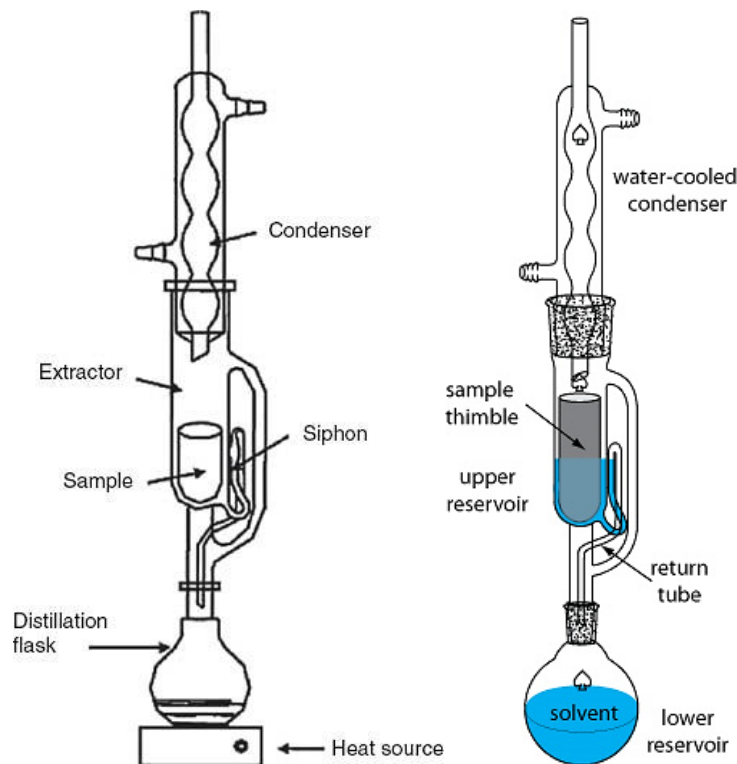


Figura 1. Sistema Soxhlet.

Fuente: Researchgate.net

2.1.6 PROTEÍNA BRUTA

Las proteínas son un componente abundante de todas las células, y todas ellas, con la excepción de las proteínas de almacenamiento, son importantes para las funciones biológicas y la estructura de las células. Las proteínas están compuestas por elementos

que incluyen el hidrógeno, el carbono, el nitrógeno, el oxígeno y el azufre. El nitrógeno es el elemento más característico presente en las proteínas. No obstante, el contenido de nitrógeno en las diversas proteínas alimentarias abarca desde un 13.4% hasta un 19.1%, debido a la variación en la composición específica de aminoácidos de las proteínas. Generalmente, las proteínas ricas en los aminoácidos más fundamentales contienen más nitrógeno.

Las proteínas se pueden clasificar según su composición, su estructura, su función biológica o sus propiedades de solubilidad. Las proteínas simples (o sencillas) contienen sólo aminoácidos tras la hidrólisis, mientras que las proteínas complejas (o conjugadas) contienen también componentes que no son aminoácidos.

El análisis de las proteínas se vuelve complicado por el hecho de que diversos componentes alimentarios presentan propiedades físico-químicas similares. El contenido total de nitrógeno orgánico en los alimentos representaría primordialmente el nitrógeno procedente de las proteínas y, en menor medida, el que proviene de todas las sustancias orgánicas nitrogenadas distintas de las proteínas (Nielsen, 2003).

El trigo posee una proporción de 2:3 de prolaminas y glutelinas, aproximadamente. Ambas fracciones, en su forma hidratada, tienen efectos diferentes sobre las características reológicas de la masa: las prolaminas son responsables sobre todo de la viscosidad, mientras que las glutelinas lo son de la elasticidad de la masa panaria (Astiasarán y Martínez, 2000).

2.1.7 MÉTODO KJELDAHL

En el procedimiento de Kjeldahl, las proteínas y otros componentes orgánicos alimentarios contenidos en la muestra, son digeridos con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El contenido total de nitrógeno orgánico es transformado en sulfato de amonio. El digerido se neutraliza con álcali y se destila sobre una disolución de ácido bórico. Los aniones boratos formados se valoran frente a un ácido, el cual, a su vez, los convierte en nitrógeno. El resultado del análisis representa el contenido bruto de proteínas en el alimento, puesto que el nitrógeno proviene también de componentes distintos de las proteínas (Nielsen, 2003).

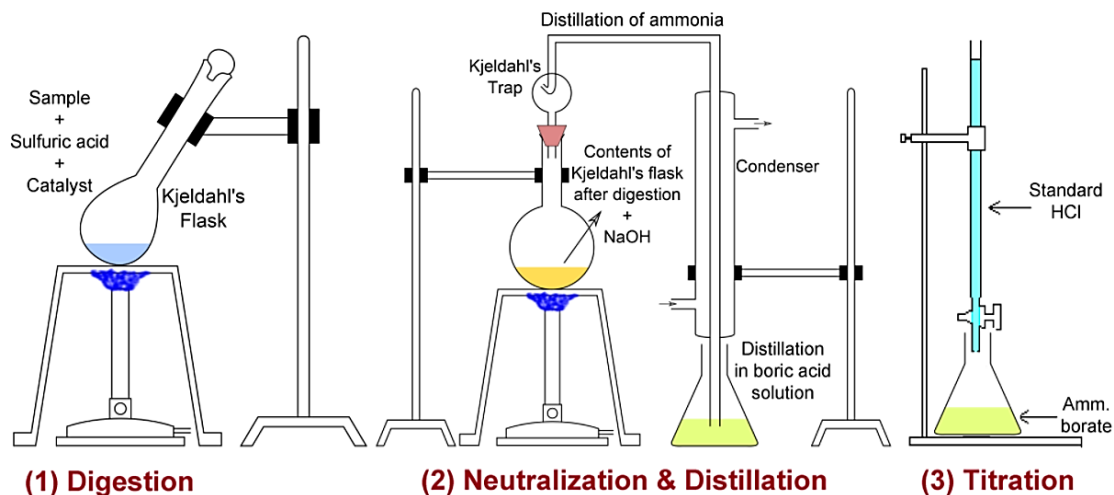


Figura 2. Método Kjeldahl.

Fuente: Supplementlabtest.com

2.1.8 HIDRATOS DE CARBONO

Los hidratos de carbono son importantes en los alimentos como una fuente principal de energía, como causantes de propiedades de textura cruciales y como fibra dietética que influye en los procesos fisiológicos. Los hidratos de carbono aportan también otras propiedades, que incluyen el volumen, el cuerpo, la viscosidad, la estabilidad de las emulsiones y las espumas, la capacidad de retención de agua, la estabilidad frente a la congelación-descongelación, el pardeamiento, los sabores, los aromas y una serie de texturas (desde lo crujiente hasta la suavidad y la blandura de los geles). También proporcionan la sensación de saciedad.

Los hidratos de carbono son, casi exclusivamente, de origen vegetal, siendo la principal excepción la lactosa de la leche. Entre los monosacáridos (azúcares simples) sólo la D-glucosa y la D-fructosa se encuentran en cantidades que no sean minoritarias. Éstos y otros monosacáridos son los únicos hidratos de carbono que pueden ser absorbidos en el intestino delgado. Los sacáridos superiores (oligosacáridos y polisacáridos) deben ser digeridos previamente (es decir, hidrolizados a monosacáridos) antes de que pueda tener lugar su absorción y aprovechamiento.

Al menos un 90% de los hidratos de carbono encontrados en la naturaleza se presentan en forma de polisacáridos. En los cereales el almidón es el principal hidrato de carbono de reserva y está presente únicamente en el endospermo. Los almidones de cereales están formados por un 25% de amilosa y un 75% de amilopectina.

El almidón se dispone en gránulos, en capas concéntricas, cuyo tamaño y forma son característicos de cada cereal, por lo que se utiliza para identificar el tipo de harina, y en los que contiene, en muchas ocasiones, pequeñas cantidades de lípidos y proteínas (Astiasarán y Martínez, 2000).

El análisis de los hidratos de carbono es importante desde distintos puntos de vista. El análisis cualitativo garantiza que en las etiquetas, los ingredientes presenten una información exacta de la composición y el análisis cuantitativo asegura que los componentes añadidos estén relacionados en el orden adecuado; igualmente, el análisis cuantitativo garantiza que las cantidades etiquetadas de los componentes específicos de interés para el consumidor sean las correctas.

De acuerdo con los reglamentos para el etiquetado nutricional de la United States Food and Drug Administration (FDA), el contenido total de hidratos de carbono de un alimento se debe calcular por sustracción de las sumas de los pesos de la proteína bruta, el contenido total de grasas, las humedades y las cenizas, del peso total del alimento (Nielsen, 2003).

2.1.9 FIBRA CRUDA

La fibra se reconoce hoy, como un elemento importante para la nutrición sana. No existe una definición de la fibra universalmente aceptada. Se trata, por tanto, de una entidad heterogénea que engloba multitud de compuestos diferentes. Tradicionalmente, el concepto de fibra incluye a todos aquellos hidratos de carbono que no se digieren ni absorben en la parte alta del tubo intestinal, llegando intactos al colon (Sánchez, *et al.* 2015).

De forma clásica, la fibra se ha clasificado en función de su condición de solubilidad. Así, distinguimos entre fibra soluble y fibra insoluble:

La fibra soluble: Incluye el almidón resistente, pectinas, gomas, mucílagos, algunas hemicelulosas y polisacáridos no amiláceos de reserva de la planta. Son compuestos muy hidratables que forman geles en el tracto digestivo. A esta característica se deben muchos de sus efectos fisiológicos como son el retraso en el vaciamiento gástrico o el enlentecimiento y disminución de la absorción de ciertos nutrientes en el intestino delgado. Al llegar al colon, sufren un proceso de fermentación por las bacterias allí presentes, produciéndose ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato, butirato). El butirato es utilizado por las células del epitelio intestinal colónico como principal fuente de energía, mientras que el propionato y el acetato son metabolizados en el hígado, pudiendo ser transportados hasta los tejidos periféricos siendo allí utilizados como fuente de energía.

La fibra insoluble: Incluye la celulosa, algunas hemicelulosas, lignina y otros polifenoles. A diferencia de la fibra soluble, apenas es fermentada por las bacterias colónicas. Presenta un importante papel en la formación y el tránsito intestinal del bolo fecal, aumentando el volumen del mismo y disminuyendo su tiempo de tránsito.

Resumiríamos diciendo que son sustancias de origen vegetal, hidratos de carbono o derivados de los mismos excepto la lignina que resisten la hidrólisis por los enzimas digestivos humanos y llegan intactos al colon donde algunos pueden ser hidrolizados y fermentados por la flora colónica (Sánchez, *et al.* 2015).

2.1.10 AZÚCARES TOTALES

Los azúcares son carbohidratos simples que cumplen muchas funciones en nuestra oferta de alimentos y en nuestras dietas. Son parte natural de muchos alimentos y son ingrediente funcional de otros. Dentro de los carbohidratos simples reconocemos los monosacáridos como la glucosa, fructosa, galactosa, manosa, etc. Los disacáridos como sacarosa, lactosa, maltosa, etc.

Como principal fuente de energía para el cuerpo, los carbohidratos son parte importante de una dieta saludable. Se encuentran en una amplia variedad de alimentos que aportan abundantes nutrientes importantes en la dieta, tales como vitaminas y minerales, fitoquímicos, antioxidantes y fibra dietaria. Las frutas, los vegetales, los granos y muchos

productos lácteos contienen carbohidratos en distintas cantidades. Los azúcares son carbohidratos que agregan o aportan sabor a una dieta nutritiva y cumplen también otras funciones organolépticas o funcionales importantes en los alimentos (Cisan. 2011).

2.1.11 FENOLES

Los fenoles son compuestos químicos ampliamente distribuidos en las plantas como producto de su metabolismo secundario, algunos de los cuales son indispensables para su funcionamiento y otros son útiles en los mecanismos de defensa bajo situaciones de tensión y contra el ataque de organismos patógenos. También se vincula el consumo de estos fitoquímicos con beneficios a la salud, debido a sus propiedades antioxidantes y anticancerígenas.

En cereales los fenoles se agrupan en solubles e insolubles o ligados. En el primer grupo están los fenoles libres, glucosilados y esterificados que se ubican en mayor cantidad en las capas periféricas de los granos, mientras que su concentración es menor en el endospermo. El principal fenol es el ácido ferúlico, que representa alrededor de 85% de los fenoles totales y se concentra en el pericarpio del grano en forma libre o esterificado a las heteroxilanas que constituyen la hemicelulosa de la pared celular (Cabrera, *et al.* 2009).

2.1.12 CONTENIDO CALÓRICO

Por ser la caloría una unidad muy pequeña en el estudio de los alimentos, se ha propuesto la kilocaloría y es la cantidad de calor requerido (a la presión de una atmósfera) para elevar la temperatura del agua 1°C.

Es claro que la caloría no es una sustancia; no se le puede hallar en los alimentos, pues no posee una estructura química, como es el caso de los carbohidratos, que se polimerizan para constituir almidón o de los aminoácidos, que se combinan para constituir una proteína. La caloría sólo nos indica la combustión de tal o cual “alimento” al ser ingerido, pero no define el grado nutricional del mismo (Reyes, 2015).

Se denomina valor energético o calórico de un alimento a la cantidad de energía que se produce cuando un alimento es totalmente oxidado o metabolizado para producir dióxido de carbono y agua (y también urea en el caso de las proteínas). Esta energía es

suministrada al cuerpo por los alimentos que comemos y se obtiene de la oxidación de hidratos de carbono, grasas y proteínas.

Todos los alimentos son potenciales fuentes de energía pero en cantidades variables según su diferente contenido en macronutrientes (hidratos de carbono, grasas y proteínas (Carbajal. 2013)).

2.2 GENERALIDADES DEL TRIGO PARA PANIFICACIÓN

El trigo ha sido cultivado desde el comienzo de la agricultura. No se conoce con precisión dónde y cuándo se originó el trigo tal y como lo conocemos hoy.

Las partes constituyentes del grano (germen, endospermo y tegumentos) están formados por diferentes tejidos, variando la composición y proporciones de cada una de ellas según los distintos géneros de trigo.

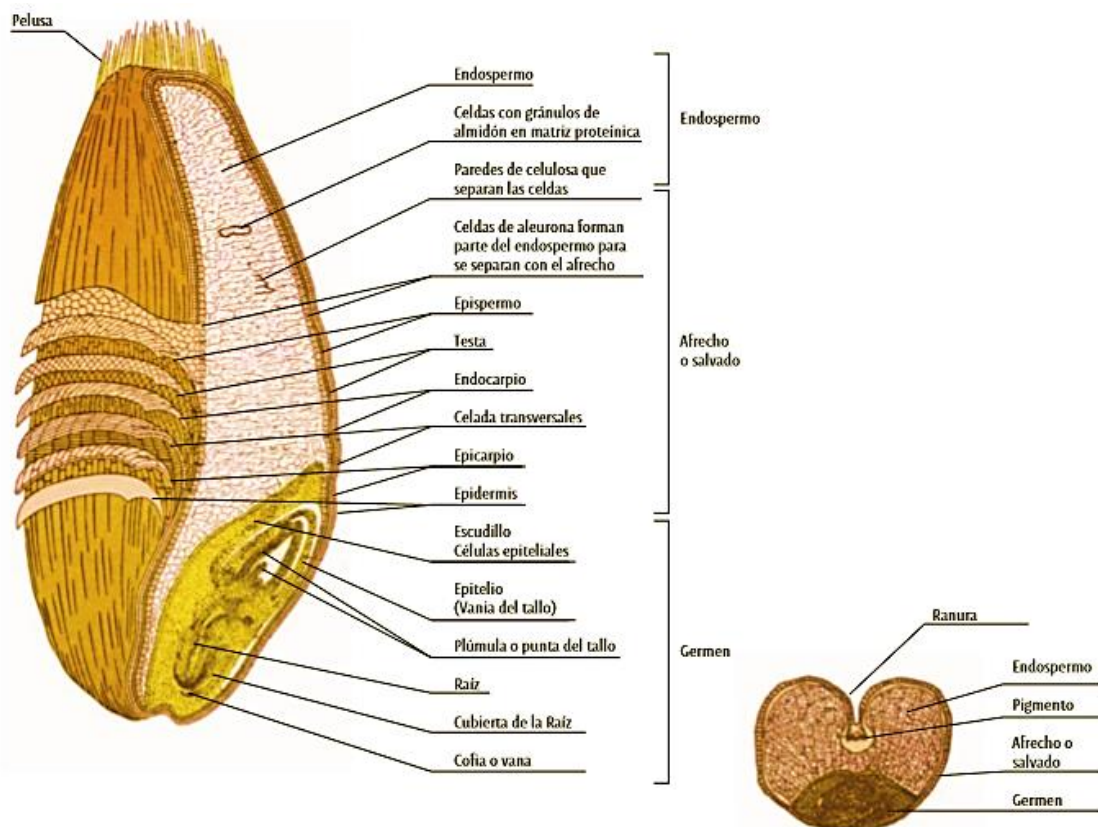


Figura 3. Estructura del grano de trigo.

Fuente: Beleno.com

El ambiente influye, con frecuencia, en los procesos fisiológicos de la maduración del grano, en relación con su vitrosidad o dureza, la cual depende del ligamiento del almidón con las proteínas del endospermo. La textura y el aspecto de las reservas amiláceas sirven para diferenciar el trigo duro (*Triticum durum*) del trigo harinero (*Triticum aestivum*).

El trigo se transforma por un proceso industrial que se denomina molienda y que consiste en la separación o fraccionamiento de la harina del resto de los componentes del grano. El principio de la molienda se basa en la diferencia de elasticidad de los tejidos que constituyen el tegumento y el endospermo; éste es quebradizo y al ser molido, los tegumentos se laminan. De esta manera es posible la separación de ambos componentes, denominándose salvado a los tegumentos y capas de aleurona, mientras que los fragmentos de endospermo son llamados harinas o sémolas. La separación se efectúa por pasadas sucesivas a través de tamices con mallas de diferentes dimensiones.

La elaboración del pan con harina de trigo es muy variada, aunque puede resumirse en tres tipos que corresponden a otros tantos de trigos característicos, como lo son:

- **Masa sin fermentación:** De la que se obtienen las pastas alimenticias (macarrones, fideos, espaguetis, etc.), y que usualmente se fabrican a partir de la sémola de trigo duro (*Triticum durum*).
- **Masa que se hincha y esponja por fermentación con levaduras:** Se obtiene a partir de la harina de trigos harineros (*Triticum aestivum*), que tiene gran aptitud para formar gluten de calidad que soporta la fuerte liberación de gas producido en la fermentación. Se les denomina trigos de fuerza o mejorantes y son ricos en proteínas, con granos de cierto aspecto vítreo a pesar de ser trigos harineros.
- **Masa que hincha químicamente:** Se obtiene de la liberación gaseosa por la descomposición de bicarbonato de sodio o amoníaco con la ayuda de un ácido. Este método se emplea en pastelería, para la elaboración de galletas, bizcochos, etc, utilizándose trigos con menos proteínas y un valor panadero más bajo.

La composición vitamínica, mineral y proteica del pan difiere de la del trigo y su harina, debido a la adición de diferentes sustancias para su elaboración (López Bellido, 1990).

2.3 CUALIDADES DE LA HARINA DE TRIGO

La elaboración de la harina requiere el proceso de molturación. En las fases preliminares de éste, los granos se limpian para eliminar impurezas. Esta fase de limpieza se basa en el tamaño del grano de cereal y en su gravedad específica, evitando el lavado de los granos, que puede estimular el crecimiento microbiano.

La fase siguiente es el acondicionamiento y consiste en sumergir los granos en agua durante 3-4 horas hasta que alcanzan una humedad del 15-17%, lo que facilita la separación de las células del endospermo amiláceo, del germen y del salvado. A continuación, los granos se muelen en un molino de rodillos, donde se separa el salvado del endospermo, y se continúa la molienda de este último para reducir el tamaño de las partículas mediante fuerzas de presión y cizalla. La separación de la harina por diferencia de tamaño se consigue mediante tamices.

Los productos resultantes de la molturación se clasifican técnicamente, según el diámetro de las partículas, en mostacilla ($> 500 \mu\text{m}$), sémola (200-500 μm), semolina (120-200 μm) y harina (14-120 μm). Los distintos tipos de harinas se separan mediante una corriente turbulenta de aire denominada turbolienda; de esta forma y mezclándolas adecuadamente, se pueden obtener harinas adecuadas a distintos fines: para pan, pastelería, galletería, etc. (Astiasarán y Martínez, 2000).

Bajo el término de fuerza, el molinero y el panadero comprenden determinadas características del trigo y de la harina que se manifiestan en la masa y en el pan resultante. Ciertas harinas necesitan mucha agua para dar masas de consistencia correcta y de la elasticidad adecuada a fin de producir panes de buena presencia, de volumen satisfactorio y de buena textura.

En general, las principales condiciones que debe reunir la harina para que el pan resulte grande y de buena textura son tres:

1. Contener azúcares en cantidad suficiente y una actividad diastásica adecuada para producir durante la fermentación una reserva de azúcares que aseguren una producción continua de gas a fin de que la masa se distienda completamente.
2. Las proteínas de la masa deben ser suficientes en cantidad, y de calidad lo bastante buena para lograr la máxima retención del gas producido.

3. La masa debe estar en su punto de maduración en el momento del horneado, y la cocción ha de practicarse con pericia y en condiciones adecuadas.

Así, las actividades diastáticas influyen en el volumen del pan, siendo que las harinas que contienen más azúcar o que son capaces de producirlo en mayor cantidad, dan lugar a panes más voluminosos (López Bellido, 1990).

2.4 PROCESO DE PANIFICACIÓN

Para hacer pan con harina de trigo son necesarios tres requisitos:

1. La formación de la estructura de gluten mediante el mezclado y amasado.
2. El esponjamiento de la mezcla por la producción del gas procedente de la fermentación de la masa por medio de levaduras.
3. Coagulación del material al cocer en el horno.

No existe un solo método de panificación, sino una amplia variedad de procesos posibles, según el tipo de pan que se va elaborar, las materias primas, etc.

En la preparación habitual de la masa de panadería se añade agua y sal a una mezcla apropiada de harinas y se amasa de 10 a 20 minutos, lo que permite la absorción de agua por las proteínas y los gránulos triturados del almidón, así como el desarrollo de la elasticidad y extensibilidad del gluten. Durante este proceso de amasado, la proteína hidratada forma una red proteica rígida, estable y tridimensional, por la formación de enlaces cruzados de tipo disulfuro (-S-S-).

A continuación, se produce la fermentación, que origina la producción de anhídrido carbónico (CO₂) por lo que la pasta crece al formarse bolsas de gas que quedan retenidas entre las finas membranas del gluten. En este proceso también se forma alcohol, que se elimina durante el proceso de cocción, y otros productos secundarios como ácidos, carbonilos y ésteres, que proporcionan los aromas y sabores característicos del pan. Esta fermentación se debe a la acción de diversas enzimas sobre los azúcares preexistentes en la harina (1-2%) y los procedentes de la hidrólisis del almidón por las α y β -amilasas presentes en la harina y otras enzimas derivadas de las levaduras, como la

maltasa, la invertasa y el complejo zimasa. Sólo una pequeña parte del almidón presente en la harina (10%) será transformado.

Finalmente, la masa se cuece en un horno a una temperatura externa de aproximadamente 200-230°C, produciéndose en la superficie un endurecimiento por desecación y un pardeamiento no enzimático (reacción de Maillard), que conduce a la formación de pigmentos pardos denominados melanoidinas, maltol y otros compuestos que proporcionan los olores característicos del pan. La cocción del pan provoca una gelatinización parcial de los gránulos de almidón, la coagulación de las proteínas de la masa, la muerte de las levaduras y la inactivación de las amilasas.

Durante el proceso de cocción, parte del agua se evapora quedando en el pan recién cocido aproximadamente un 40% de humedad, que disminuirá un 2-3% durante el período de enfriamiento posterior (Astiasarán y Martínez, 2000).

2.5 PRODUCTOS DE BOLLERÍA Y REPOSTERÍA:

En este grupo se pueden incluir productos tan variados como las galletas, las tartas, los bizcochos, los hojaldres, los crepes, los bollos, y otros, que en general se elaboran a partir de harinas de trigo blando (*Triticum aestivum*). Además, según el producto de que se trate, llevan añadidos ingredientes que les hacen más dulces, como azúcar o miel; otros de carácter graso, como mantequilla, manteca, aceites vegetales, así como una gran diversidad de otros ingredientes como leche, nata y otros productos lácteos, frutos secos, etc.

Su valor nutritivo varía mucho en función de su composición química y, por consiguiente, de los ingredientes utilizados en su elaboración. En cualquier caso, su aporte energético será superior al del pan por su mayor contenido en grasa (Astiasarán y Martínez, 2000).

2.6 GENERALIDADES DE LA GERMINACIÓN

La germinación es un proceso que incrementa la biodisponibilidad de nutrientes y la palatabilidad de ciertos alimentos. Durante la germinación, las semillas necesitan ciertas condiciones ambientales favorables, como la presencia de oxígeno, luz, temperatura y humedad que determinan el desarrollo del olor y el sabor de los germinados; entre las

modificaciones en la composición, se pueden apreciar variaciones de los carbohidratos solubles y de la proteína, así como un incremento de la vitamina C, lo que origina una mejora en el valor nutritivo de los germinados.

Los germinados o brotes (que se denominan así indistintamente) están muy extendidos en muchos países donde existe una gran variedad de ellos, ya que se puede germinar cualquier tipo de semilla.

La especie comúnmente utilizada para germinar es la *Triticum aestivum*. Las semillas germinadas de trigo suelen ser utilizadas para elaborar bebidas, platos calientes y hasta postres; también son muy utilizados para obtener harina de trigo germinado empleada en panificación.

Posiblemente la germinación sea uno de los procesos más antiguos, económicos y sencillos empleados para mejorar el valor nutricional de granos de cereales y de leguminosas. Desde este punto de vista, la germinación de éstas y otras semillas presenta una considerable importancia y pueden llegar a ser una fuente potencial de ingredientes alimenticios más ricos en nutrientes. Se suele incrementar el contenido de vitaminas del grupo B y sobre todo la vitamina C, mejorando la digestibilidad proteica, reduciendo factores antinutricionales en las leguminosas, tales como inhibidores de proteasas, ácido fítico y lectinas, provocando una hidrólisis de oligosacáridos (rafinosa y estaquiosa), siendo estos azúcares causantes de provocar flatulencia al consumirlos.

Los germinados son muy sencillos de preparar y se pueden elaborar de forma doméstica o industrial. Las semillas se ponen a remojo en agua, cuya cantidad debe ser superior a tres veces el volumen de las semillas; en general se puede utilizar un frasco de vidrio de boca ancha, que se cubre con una tela fina o una gasa y se ajusta con una goma. De esta forma se dejará remojando toda la noche o aproximadamente de seis a doce horas, dependiendo de la semilla, tardando en germinar aproximadamente de dos a cinco días.

Es importante considerar la temperatura de remojo, que puede ser de 15 a 20°C. Culminado este tiempo, se desechará el agua y se enjuagarán las semillas, dejando el frasco inclinado boca a bajo de tal forma que facilite la salida del exceso del agua, quedando húmedas las semillas. El frasco deberá conservarse en un lugar oscuro, cálido

y limpio. El proceso de enjuagado se realizará entre dos y cuatro veces por día. De esta forma se va produciendo la germinación y cuando los brotes tengan de dos a tres centímetros se deberán exponer a la luz solar, de forma indirecta, durante dos horas al día para la formación de clorofila. Cuando los brotes estén listos se enjuagarán para quitar los restos de las semillas y se escurrirán (Ponce de León *et al.*, 2011).

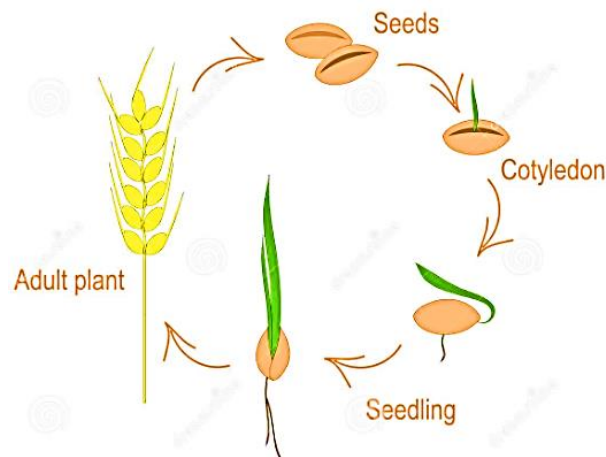


Figura 4. Esquema de la germinación de un grano de trigo.

Fuente: Istockphoto.com

2.7 GENERALIDADES DE LA COLA DE CABALLO MENOR (*Equisetum arvense*)

La cola de caballo menor (*Equisetum arvense*) forma parte de las plantas que se emplean en los preparados biodinámicos. Sirve para prevenir la mayor parte de las enfermedades criptogámicas (hongos) del mundo vegetal. Su acción se basa en la elevada cantidad de ácido silícico que elabora y concentra esta planta en sus tejidos (90%).

La especie *Equisetum arvense* tiene alguna característica que la hace peculiar, pero como todas las de su familia se nos presenta como un conjunto de tallos tubulares articulados, que no contienen médula en su interior sino aire: están huecos. Las paredes de estos tallos contienen mucho sílice, las hojas son unas pequeñas escamas que hay en los nudos del tallo y reunidas en forma de collar. En el aspecto de esta planta, el principio vertical y el horizontal están acentuados de una forma muy característica. La parte subterránea de la planta está formada por un conjunto de rizomas muy ramificados, que se extienden horizontalmente en el suelo, crean órganos de reserva alimenticia y

generan nuevos brotes; y un órgano radicular verdadero que puede alcanzar hasta unos 6 metros de profundidad.

Como planta medicinal, el ácido silícico que contiene estimula fuertemente los riñones y por ello regulariza las actividades del bazo, hígado y pulmón. También es eficaz contra el asma, por su relación con la función renal.

La gran virtud de esta planta es su eficacia en la prevención y lucha contra las enfermedades criptogámicas. Estas enfermedades suelen afectar a las plantas en determinados momentos del año, sobre todo cuando se dan unas condiciones climáticas particulares de humedad y calor, junto con períodos de crecimiento de las plantas que son más sensibles al ataque de dichos hongos (mildiu, roya, oídio, monilia, chancro, etc.) La experiencia también ha comprobado que esta planta sirve para combatir la araña roja y el pulgón (Ponce, 2008).

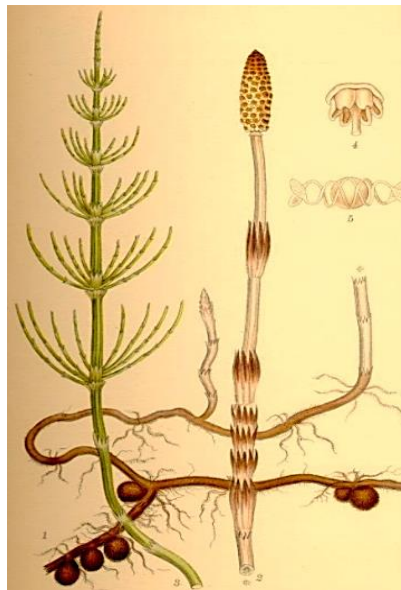


Figura 5. Cola de caballo (*Equisetum arvense*).

Fuente: Runeberg.org

2.8 GENERALIDADES DE LA MIEL DE MAGUEY (*Agave tequilana weber*)

El maguey es una planta originaria de mesoamérica, en México lo encontramos distribuido principalmente en zonas áridas y semiáridas de nuestro país como son los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas.

En México, los magueyes son un importante recurso económico para los pobladores rurales, ya que esta planta es utilizada para la obtención de: productos de miel, ornato, combustible, en la industria destiladora o como alimento para ganado en tiempos de estiaje.

La llamada miel de maguey es un endulzante de origen 100% natural que contiene fructosa, la cual no estimula la secreción digestiva, como otros azúcares; elaborado a base del aguamiel extraído del maguey, es una fuente natural de nutrientes.

El aguamiel de maguey tiene un alto contenido de fructooligosacáridos, componentes que facilitan el buen funcionamiento del sistema intestinal, así como del organismo en general, gracias a sus efectos directos sobre la producción de las bífidobacterias. Además inhibe el crecimiento de bacterias patógenas, como *E. Coli*, *Listeria*, *Shigella* y *Salmonella*.

La miel de maguey contiene minerales, hierro, calcio, fósforo, magnesio y fibra, que estimula la microbiota intestinal, por lo que también es recomendada para personas con estreñimiento, al ser un alimento prebiótico. Una propiedad de la miel de maguey es que es tolerada por personas diabéticas y es ideal para los hipoglucémicos. Su índice glicérico es de 11, por lo que no necesita insulina para ser digerida. Previene enfermedades digestivas, respiratorias, osteoporosis, y ayuda a regular los niveles de colesterol y triglicéridos (Hernández Becerra, *et al.* 2010).



Figura 6. Maguey (*Agave tequilana weber*), agua miel y miel de maguey.

Fuente: S.G.M., 2017

3 METODOLOGÍA

3.1 LOCALIZACIÓN DEL SITIO EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación fue realizado en el Laboratorio de Nutrición Animal, del Departamento de Nutrición Animal, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, institución ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

3.2 MATERIA PRIMA UTILIZADA

- El grano de trigo utilizado durante la investigación fue adquirido en el departamento de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.
- El trigo *Triticum aestivum*. AN-91-98 es una línea de trigo desarrollada en la U.A.A.A.N. para producción de grano; se ha establecido su cultivo en el estado de Coahuila, en los municipios de Torreón, Saltillo y Zaragoza.
- Dicha línea de grano es de calidad para panificación, de hábito primaveral, creciendo a una altura de 1.10 cm, en un ciclo de 120 días de siembra a cosecha.

3.3 MATERIALES UTILIZADOS

Los materiales que se utilizaron durante el desarrollo de este trabajo, se describen a continuación en el Cuadro 1:

Cuadro 1. Materiales utilizados en la germinación.

Matraz de aforo de 1 L	Charolas de aluminio	Papel secante
Vaso de precipitado de 1 L	Frasco de vidrio con tapa de aluminio	Agitador magnético
Matraz Erlenmeyer de 500 mL	Cernidor manual de aluminio	Licudora
Botella de plástico con aspersor	Guantes de látex	Agua destilada
Contenedores de plástico con tapa (45 cm x 25 cm x 15 cm)	Bolsa de papel estroza	Tela de lino
Embudo de plástico	Agua potable	Papel aluminio

Fuente: S.G.M., 2017.

Cuadro 2. Materiales utilizados en elaboración del pan dulce.

Mezcla para hot cakes de harina integral (Hill Country Fare)	Extracto de vainilla (Molina)
Harina de germinado de trigo (<i>Triticum aestivum</i> . AN-91-98)	Rexal
Huevo entero	Margarina sin sal (Primavera)
Leche entera (Alpura)	Batidor de globo
Miel de agave (Magueyísima)	Recipiente de plástico de 1 L
Canela en polvo (McCormick)	Cuchara de plástico
Vaso de precipitado de 50 mL	Termómetro de vidrio
Probeta de 10 mL	Capacillos de papel encerado
Molde metálico de 6 cavidades	Tela de algodón de 30 x 30 cm
Palillos de madera	

Fuente: S.G.M., 2017.

Cuadro 3. Materiales utilizados durante la determinación de cenizas y M.S.T.

Crisoles de porcelana	Espátula de acero inoxidable	Frascos de vidrio con tapa
Pinzas para crisol	Mortero y pistilo	Desecador

Fuente: S.G.M., 2017.

Cuadro 4. Materiales utilizados durante la determinación de proteína.

Matraz Kjeldhal de 800 mL	Probeta de 500, 50 y 10 mL
Matraz Erlenmeyer de 500 mL	Soporte para matraz Kjeldhal
Bureta de 50 mL	Guantes de nitrilo
Perlas de vidrio	Agua destilada

Fuente: S.G.M., 2017.

Cuadro 5. Materiales utilizados durante la determinación de grasa.

Dedales de asbesto	Papel filtro	Matraz bola de fondo plano y boca esmerilada
Pinzas para matraz	Espátula de acero inoxidable	

Fuente: S.G.M., 2017.

Cuadro 6. Materiales utilizados durante la determinación de fibra.

Vasos de Berzelius de 600 mL	Piseta	Vaso de precipitado de 50 mL
Filtros de tela de lino	Vidrio de reloj	Probeta de 50 mL
Embudos de plástico	Espátula de acero inoxidable	

Fuente: S.G.M., 2017.

Cuadro 7. Materiales utilizados durante la determinación de azúcares totales por método fenol sulfúrico.

Tubos de ensaye de 5 mL	Hielo	Probeta de 50 mL
Baño de acero inoxidable	Matraz de aforo de 50 mL	Puntillas para micro pipeta de 50-1000 μ L (Brand)
Gradilla	Pipeta de 1000 μ L	Agua destilada
Matraz Erlenmeyer de 100 mL	Vasos de precipitado de 50 mL	Celdas para espectrofotómetro (Perkin Elmer)

Fuente: S.G.M., 2017.

Cuadro 8. Materiales utilizados durante la determinación de fenoles totales por método Folin Ciocalteu.

Tubos de ensayo de 16 x 50	Vasos de precipitado de 50 mL	Probeta de 10 mL	Hielo
Papel aluminio	Micro pipeta de 100 μ L y 1000 μ L (Science)	Matraz de aforo de 50 mL	Gradilla
Baño de acero inoxidable	Tubos para centrifuga Corning	Puntillas para micro pipeta de 50-1000 μ L (Brand)	Agua destilada

Fuente: S.G.M., 2017.

3.4 EQUIPOS UTILIZADOS

Los equipos que se utilizaron durante el desarrollo de este trabajo, se describen a continuación:

Cuadro 9. Equipos utilizados.

EQUIPO	MARCA	EQUIPO	MARCA
Cámara de crecimiento	REVCO Modelo: R1-12-555-A	Parrilla de agitación	Fisher, Modelo: 14-511-1
Estufa de secado	Robertshaw	Horno de gas	Flamineta
Estufa de secado	Thelco; Modelo 27	Balanza analítica	OHAUS; Modelo Explorer
Balanza digital	OHAUS; Modelo Scout Pro SP601	Aparato de digestión y destilación Kjeldhal	Labconco
Mufla	Thermo Scientific; Modelo Thermolyne	Extractor Soxhlet	Labconco
Digestor	Labconco	Plancha de calentamiento	Thermo Scientific; Modelo Type 2200
Espectrofotómetro	Thermo Spectronic	Micro pipeta	Brandtech; Modelo Transferpette
Vortex automático	BenchMixer; Modelo BV1000	Centrifuga	Thermo IEC, Modelo: Centra CL-2

Fuente: S.G.M., 2017.

3.5 REACTIVOS UTILIZADOS

Los reactivos que se utilizaron durante el desarrollo de este trabajo, se describen a continuación:

Cuadro 10. Reactivos utilizados.

Solución de hipoclorito de sodio al 5%	Indicador mixto	Ácido sulfúrico al 0.255 N
Solución de cola de caballo (<i>Equisetum arvense</i>)	Granallas de zinc	Hidróxido de sodio al 0.313 N
Jabón líquido	Mezcla de selenio	Fenol sulfúrico
Ácido sulfúrico al 0.1 N	Ácido sulfúrico concentrado	Sacarosa
Hidróxido de sodio al 45%	Hexano	Acetona
Ácido bórico al 4%	Ácido gálico	Carbonato de sodio al 0.01 M

Fuente: S.G.M., 2017.

3.6 ETAPA 1- ACONDICIONAMIENTO DEL GRANO

3.6.1 SOLUCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO AL 5%

En un matraz de aforo de 1 L se adicionaron 50 mL de hipoclorito de sodio y se aforó a un litro con agua destilada, se agitó cuidadosamente hasta homogenizar.

3.6.2 SOLUCIÓN DE COLA DE CABALLO (*Equisetum arvense*)

Se pesaron 25 g de trozos de tallo de cola de caballo, se colocaron en un vaso de precipitado de 1 L y se adicionaron 500 mL de agua destilada hirviendo, se cubrió completamente el vaso de precipitado con papel aluminio, se llevó a reposar por 24 horas a temperatura ambiente.



Figura 7. Cola de caballo en trozos.

Fuente: S.G.M., 2017.

Transcurridas las 24 horas se retiró el papel aluminio y se filtró la solución haciendo uso de un embudo y tela de lino (para de esta manera obtener liquido solamente), el líquido se depositó en un matraz Erlenmeyer de 500 mL el cual fue cubierto completamente con papel aluminio, se obtuvo una solución oscura color amarillo verdoso y de olor penetrante.



Figura 8. Solución de cola de caballo antes de las 24 horas y transcurridas las 24 horas.

Fuente: S.G.M., 2017.

3.6.3 LIMPIEZA DEL GRANO

El grano de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98) fue proporcionado por el Departamento de cereales, perteneciente a la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. A continuación se describe el tratamiento inicial que se le dio al grano como manera de acondicionamiento para su posterior germinación.

Se seleccionó manualmente el grano a utilizar y se conservó en una bolsa de papel a una temperatura ambiente de 19 °C, en un lugar oscuro durante 30 días.



Figura 9. Grano de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98).

Fuente: S.G.M., 2017.

Para el lavado del grano se pesaron 100 g del mismo, se colocaron en un vaso de precipitado de un litro, se adicionaron 100 mL de solución de hipoclorito de sodio al 5%, 100 mL de solución de cola de caballo y 2 mL de jabón líquido (Salvo), se le colocó un agitador magnético y se llevó a agitación constante en una parrilla de agitación (Fisher) durante una hora (Figura 10).



Figura 10. Grano de trigo en agitación constante.

Fuente: S.G.M., 2017.

Transcurrido el tiempo, se tiró el agua de lavado teniendo cuidado de que ningún grano se fuera en ella, se agregaron 500 mL de agua destilada (a modo de enjuague) y se volvió a llevar a agitación constante en la parrilla de agitación (Fisher) durante 15 minutos. Pasado el tiempo se tiró el agua y se cuidó que ningún grano se fuera en ella, el grano húmedo se acondicionó para su germinación (Figura 11).



Figura 11. Grano de trigo después de su lavado y enjuague.

Fuente: S.G.M., 2017.

3.7 ETAPA 2- GERMINACIÓN DEL GRANO Y OBTENCIÓN DE LA HARINA

Teniendo el grano limpio, se colocó en los contenedores de plástico y la metodología que se siguió es la siguiente:

1. Se limpiaron los contenedores de plástico con medidas de 45 cm x 25 cm x 15 cm, con papel secante humedecidos en una mezcla de 100 mL de solución de cola de caballo y 200 mL de hipoclorito de sodio al 5%.
2. Se colocó en el fondo del contenedor una hoja de papel secante humedecida con la mezcla de solución de cola de caballo e hipoclorito de sodio al 5%.
3. Uno a uno y en orden de zigzag se colocaron los granos de trigo, dejando un espacio aproximado de 5 mm entre un grano y otro.
4. Utilizando un aspersor se remojaron los granos con solución de cola de caballo al 100%.
5. Se colocó encima de los granos una hoja de papel secante humedecida con la mezcla de solución de cola de caballo e hipoclorito de sodio al 5%.
6. Por último se colocó la tapa hermética del contenedor plástico, asegurándose de sacar la mayor parte del aire.



Figura 12. Colocación del grano de trigo lavado en los contenedores de plástico

Fuente: S.G.M., 2017.

Para finalizar se llevaron los contenedores a la cámara de crecimiento (REVCO) durante 5 días a una temperatura de 25 °C; a continuación se describe la operación a seguir para el manejo de la cámara de crecimiento:

- a. Enchufar a la electricidad y encender con el interruptor la cámara de crecimiento.
- b. Ajustar programación de luz y temperatura (12 horas de mañana a tarde y 12 horas de noche).
- c. Ajustar temperatura deseada a 25 °C.
- d. Ajustar rango mínimo de temperatura a 20 °C y rango máximo de temperatura a 30 °C.
- e. Encender interruptor de encendido de luz interior.

El grano se dejó en la cámara de crecimiento por un período de 5 días, durante ese tiempo se asperjaron las cajas, cada dos días, con solución de cola de caballo al 100%, cuidando de no generar contaminación.

Al finalizar el período de germinación se recolectaron los granos germinados, algunos presentaron cotiledón, otros, plántula; se separaron los granos en buen estado y se colocaron en charolas de aluminio, dispersos para favorecer el proceso de secado.



Figura 13. Proceso de germinación del grano de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98).

Fuente: S.G.M., 2017.

Se obtuvo un porcentaje de germinación del 80%, así como una baja cantidad de granos contaminados por microorganismos

Las charolas se metieron en la estufa de secado (Robertshaw) y se dejaron ahí durante 24 horas a una temperatura de 75 °C. Transcurrido ese tiempo se procedió a captar todo el grano seco en un bote de plástico para posteriormente llevarlo a moler en una licuadora (Ozer) y se obtuvieron 25 g de harina homogénea, la cual se pasó a través de un cernidor manual de aluminio y se guardó en un frasco de vidrio con tapa de aluminio.



Figura 14. Germinado de trigo antes de secarse y después de 24 horas en la estufa de secado (Robertshaw).

Fuente: S.G.M., 2017.

3.8 ETAPA 3: FORMULACIÓN Y DESARROLLO DEL PAN DULCE

Se determinaron tres formulaciones con harina de germinado de trigo y un testigo (el cual no contenía harina de germinado de trigo), para la elaboración de los panes; las formulaciones se describen en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Formulaciones del pan dulce.

TESTIGO	5% H.G.T.	15% H.G.T.	25% H.G.T.
100 g de harina integral (mezcla para hot cakes)	100 g de harina integral (mezcla para hot cakes)	100 g de harina integral (mezcla para hot cakes)	100 g de harina integral (mezcla para hot cakes)
	5 g de harina de germinado de trigo	15 g de harina de germinado de trigo	25 g de harina de germinado de trigo
1.5 g de Rexal	1.5 g de Rexal	1.5 g de Rexal	1.5 g de Rexal
1 g de canela molida	1 g de canela molida	1 g de canela molida	1 g de canela molida
10 mL de miel de agave	10 mL de miel de agave	10 mL de miel de agave	10 mL de miel de agave
20 g de margarina sin sal	20 g de margarina sin sal	20 g de margarina sin sal	20 g de margarina sin sal
1.5 mL de extracto de vainilla	1.5 mL de extracto de vainilla	1.5 mL de extracto de vainilla	1.5 mL de extracto de vainilla
5 mL de huevo entero	5 mL de huevo entero	5 mL de huevo entero	5 mL de huevo entero
100 mL de leche entera	100 mL de leche entera	100 mL de leche entera	100 mL de leche entera

Fuente: S.G.M., 2017.

Ya teniendo listas las formulaciones se procedió a la realización de cada una de ellas, el proceso general se describe a continuación:

- Pesar cada uno de los ingredientes en polvo (de acuerdo a la formulación), añadir al recipiente de plástico todos los ingredientes en polvo, mezclar con el batidor de globo hasta integrar bien cada uno de ellos.
- Derretir previamente la mantequilla a fuego lento en un vaso de precipitado de 50 ml. Pesar y adicionar a la mezcla anterior los ingredientes líquidos, incluyendo la mantequilla previamente derretida. Batir con ayuda del batidor de globo hasta crear una mezcla homogénea, evitando la formación de grumos.



Figura 15. Mezcla de testigo vs mezcla a la que se le añadió H.G.T.

Fuente: S.G.M., 2017.

- Cubrir el recipiente de plástico con una tela de algodón y dejar reposar la mezcla durante 10 minutos para que esponje. Precalentar el horno de gas (Flamineta) a una temperatura constante de 180 °C. Transcurrido el tiempo de reposo, se toma uno de los capacillos de papel y se coloca en la balanza digital (OHAUS), se tara la balanza y se agrega poco a poco la mezcla con ayuda de una cuchara de plástico, hasta pesar 50 g de mezcla, se coloca el capacillo con mezcla dentro de uno de los 6 espacios del molde. Repetir esta operación con cada uno de los 6 capacillos que irán dentro del molde metálico.
- Meter el molde metálico con capacillos en el horno de gas (Flamineta) y cerrar con cuidado la puerta del horno, cuidando que no haya alguna entrada de aire, pues de haberla el pan no esponjará. Hornear por un tiempo de 15 minutos, revisando su cocción con ayuda de un palillo de madera. Teniendo ya los panes horneados, se les deja enfriar por 5 minutos.



Figura 16. Capacillos con mezcla de testigo antes de hornear junto a los panes horneados.

Fuente: S.G.M., 2017.



Figura 17. Pan dulce elaborado con las cuatro formulaciones establecidas.

Fuente: S.G.M., 2017.

3.9 ETAPA 4- CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA TORTILLA

Se analizaron las muestras (testigo, H.G.T. al 5%, H.G.T. al 15% y H.G.T. al 25%); todas las determinaciones se realizaron por triplicado de acuerdo con la AOAC 1980.

3.9.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS PARA SU ANÁLISIS

Se identificaron las charolas de aluminio y se pesaron, a los panes obtenidos se les retiró el capacillo de papel y se desmoronaron sobre una charola de aluminio, se pesaron tanto las charolas como las muestras en una balanza digital (OHAUS) con capacidad de 600 g, posteriormente se metieron las charolas (Figura 17) en la estufa de secado (Robertshaw) a una temperatura de 75 °C por 24 horas.

Transcurrido el tiempo se sacaron las charolas y se dejaron 3 minutos a temperatura ambiente, se registró el peso nuevamente de cada una de las charolas con muestra seca.



Figura 18. Charolas de aluminio con cada una de las cuatro muestras secas.

Fuente: S.G.M., 2017.

Finalmente se molió la muestra con la ayuda de un mortero (Figura 18) y se almacenó en frascos de vidrio limpio, con tapa y previamente identificados, para su conservación y posterior uso en las siguientes pruebas.



Figura 19. Mortero en el cual se realizó la molienda de los panes.

Fuente: S.G.M., 2017.

3.9.2 DETERMINACIÓN DE MATERIA SECA TOTAL (HUMEDAD)

La determinación de materia seca total se obtiene mediante la evaporación total de la humedad a una temperatura de 100-105 °C. Este método determina el agua contenida en cada una de las cuatro muestras a analizar.

Para empezar, se toma la cantidad de crisoles de porcelana necesarios para cada muestra y se meten a la estufa de secado con circulación de aire (Thelco), la cual se encuentra a 100-103 °C, por 24 horas; de esta manera se tendrán los crisoles a peso constante.

Transcurrido este tiempo se sacan los crisoles con cuidado ayudándose de las pinzas para crisol y se colocan en un desecador con sílica gel (que enfría las muestras sin aumentar la humedad) para dejarlos enfriar durante 20 minutos, pasado el tiempo se pesan en una balanza analítica (OHAUS), posteriormente se les coloca 2 g de muestra (Testigo, H.G.T 5%, H.G.T. 15%, H.G.T 25%); las muestras fueron pesadas previamente sobre un papel limpio, el peso del papel es descartado.

Después se toman las pinzas para crisol y se colocan los crisoles nuevamente en una estufa de secado con circulación de aire (Thelco) a una temperatura de 100-103 °C, durante 24 horas; pasado este tiempo se sacaron los crisoles de la estufa con las pinzas para crisol y se dejaron enfriar 20 minutos en el desecador con sílica gel.

Pasados los 20 minutos, se saca con las pinzas para crisol, uno a uno de los crisoles con muestra y se lleva a pesar en la balanza analítica (OHAUS), tarando la balanza entre un crisol y otro. El peso de cada crisol se registra para después realizar los cálculos correspondientes haciendo uso de las siguientes fórmulas:

$$\% \text{ MST} = \frac{\text{peso crisol con muestra seca} - \text{peso crisol solo}}{\text{g de muestra utilizada}} * 100$$

$$\% \text{ H} = 100 - \% \text{ MST}$$

Dónde:

MST = Materia Seca Total.

H = Humedad.

3.9.3 DETERMINACIÓN DE CENIZAS TOTALES

Las cenizas se determinan quemando la porción combustible mediante una elevada temperatura (calcinación) que puede ser de 500-600 °C.

Este análisis se llevó a cabo mediante un método seco y se utilizaron las muestras usadas en la determinación de materia seca total, las cuales se pre-incineraron en parrillas eléctricas (Figura 19), hasta que dejaron de emitir humo, posteriormente se colocaron en la mufla (Thermo Scientific) por un periodo de tiempo de 3 horas a una temperatura de 600 °C.



Figura 20. Incineración de las muestras en una parrilla (LABCONCO).

Fuente: S.G.M., 2017.

Transcurridas las 3 horas correspondientes, se apagó la mufla y se esperó otras 3 horas hasta que el aparato se enfriara, al término de este tiempo se sacaron los crisoles con ayuda de las pinzas para crisol y se colocaron en el desecador con sílica gel, dejándolos enfriar 20 minutos. Habiendo concluido los 20 minutos se tomaron uno a uno los crisoles con las pinzas para crisol y se pesaron en la balanza analítica, tarando la balanza entre cada cambio de muestra, los pesos de cada crisol se registraron para realizar los cálculos correspondientes haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\% C = \frac{\text{peso del crisol con ceniza} - \text{peso del crisol solo}}{\text{g de muestra utilizada}} * 100$$

Dónde:

C= Cenizas.

3.9.4 DETERMINACIÓN DE EXTRACTO ETÉREO O GRASA POR EL MÉTODO SOXHLET

Al realizar el análisis de extracto etéreo, no solamente se encuentran en este las grasas y aceites, sino otros compuestos como las vitaminas liposolubles, pigmentos, fosfolípidos, glicolípidos, ceras, parafinas y xantofilas.

Se toman los matraces bola con fondo plano, se identifican con un código que identifique cada muestra y se colocan en la estufa de secado que se encuentra a 100-103 °C para que de esta manera estén a peso constante.

Se pesaron 4 g de cada muestra seca sobre un papel filtro (se descarta el peso del papel) en una balanza analítica, se dobló cada papel filtro con la muestra en forma de sobre y posteriormente se depositaron en cartuchos porosos de celulosa, estos cartuchos ya doblados se introdujeron en un sifón de vidrio. Los matraces redondos de fondo plano a peso constante se enfriaron durante 20 minutos en un desecador con sílica gel, transcurrido el tiempo se sacaron y posteriormente se registraron sus pesos.

A los matraces bola de fondo plano se les adicionó hexano hasta la mitad de su capacidad, se acopló cada matraz a un refrigerante de vidrio del dispositivo Soxhlet (Figura 20). La extracción se realizó por un periodo de 8 horas contando el tiempo a partir de que inició la ebullición del solvente.

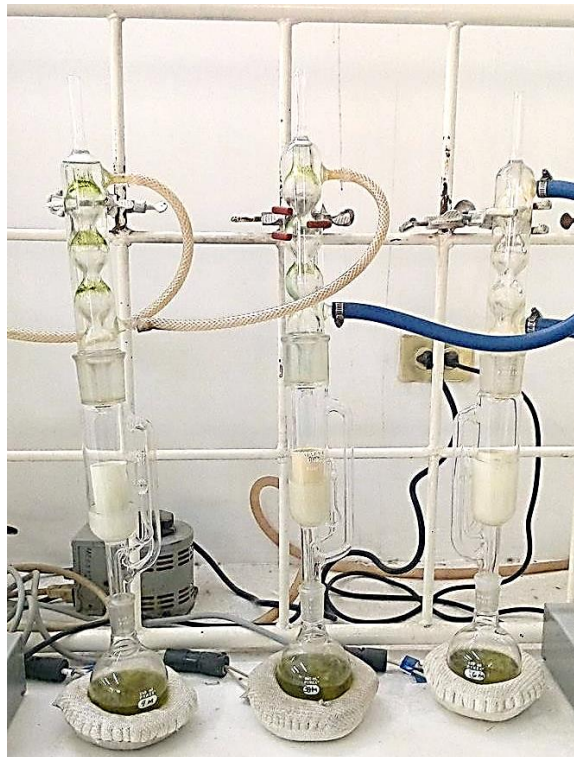


Figura 21. Aparato Soxhlet.

Fuente: S.G.M., 2017.

Al finalizar la extracción se recuperó el solvente y los matraces se colocaron en la estufa de secado a una temperatura de 100-103 °C por un periodo de 12 horas para tenerse a peso constante, transcurrido el tiempo se retiraron los matraces de la estufa y con las pinzas para matraz se colocaron en el desecador con sílica gel por 20 minutos, una vez que se enfriaron se pesaron los matraces en la balanza analítica (usando siempre la misma balanza para evitar errores de peso), se registraron los datos para realizar los cálculos correspondientes usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ EE} = \frac{\text{peso del matraz con grasa} - \text{peso del matraz solo}}{\text{g de muestra utilizada}} * 100$$

Dónde:

EE = Extracto Etéreo.

3.9.5 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA CRUDA POR MÉTODO KJELDHAL

El principio básico de este método se basa en la conversión del nitrógeno de las sustancias nitrogenadas en amonio. Así mismo, la metodología se divide en tres procesos, los cuales se realizaron repetidas ocasiones en cada una de las muestras a analizar, el método se describe a continuación.

3.9.5.1 DIGESTIÓN

Se pesó 1 g de muestra seca y molida en una balanza analítica sobre un papel filtro (se descarta el peso del papel), el papel se dobló en forma de sobre, de manera que la muestra quede contenida dentro y no se salga, luego se colocó el sobre de papel hasta el fondo de un matraz Kjeldhal de 800 mL, al cual se agregaron 3 perlas de vidrio (para que esté en ebullición constante), se colocó una cucharada de catalizador (mezcla reactiva de selenio) y 30 mL de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado, finalmente el matraz se colocó en el digestor del aparato Kjeldhal, encendiendo la parrilla por un tiempo de 3 a 4 minutos o hasta que la mezcla dentro del matraz cambie de color café oscuro a un tono verde claro (Figura 21), cuando se obtenga dicho tono verde, se apaga la parrilla, se debe encender el extractor de humos para evitar intoxicarse con los gases resultantes de la digestión.



Figura 22. Cambio de color de las muestras durante la digestión en parrillas de aparato Kjeldhal.

Fuente: S.G.M., 2017.

3.9.5.2 DESTILACIÓN

Luego de la digestión se toma el matraz con ayuda de un guante de nitrilo, se lleva a la tarja y se pone a enfriar al chorro del agua, cuidando que no entre en el matraz y cuando éste se enfríe, se adicionan 300 mL de agua destilada para diluir la muestra digerida.

Aparte, en un matraz Erlenmeyer de 500 mL se agregaron 50 mL de ácido bórico (H_3BO_3) al 4% y 5 gotas de indicador mixto (rojo de metilo y verde de bromocresol). Posteriormente al matraz Kjeldhal se le agregaron 110 mL de hidróxido de sodio (NaOH) al 45% por las paredes y 3 granallas de zinc, no agitar el matraz Kjeldhal.

El matraz Erlenmeyer es llevado al área de destilado del aparato Kjeldhal, se coloca en la parte inferior del mismo, se mete la manguera del destilador dentro del matraz y se abre la llave del agua para que ésta corra por la tubería del destilador, el matraz Kjeldhal es colocado en la parte superior sobre la parrilla, cuidando de ajustar bien el corcho con la manguera dentro de la boquilla del matraz, se enciende la parrilla para iniciar la destilación. Cuando se hayan recibido 250 mL de destilado en forma de amoníaco líquido en el matraz Erlenmeyer, se debe apagar la parrilla para evitar que la muestra se succione y regrese al matraz Kjeldhal, se retira la manguera y se lleva a una mesa para realizar la valoración.



Figura 23. Parte destiladora del aparato Kjeldhal.

Fuente: S.G.M., 2017.

3.9.5.3 VALORACIÓN

Los 250 mL de destilado se titularon con ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 0.1025641 N hasta obtener un vire de color azul a rosa pálido, se tomó la lectura de los mililitros gastados del ácido sulfúrico (H_2SO_4).



Figura 24. Valoración del destilado con ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 0.1025641 N.

Fuente: S.G.M., 2017.

Con los datos obtenidos de cada muestra se realizaron los cálculos correspondientes usando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ N} = \frac{(\text{mL gastados del ácido} - \text{mL del blanco})(\text{N del ácido})(0.014)}{\text{g de muestra utilizada}} * 100$$

$$\% \text{ PC} = (\% \text{ N})(\text{factor de conversión})$$

Dónde:

N = Nitrógeno.

PC = Proteína Cruda.

N del ácido (H₂SO₄) = 0.1025641 N

0.014 = mili equivalente del Nitrógeno.

Factor de conversión de nitrógeno que tienen algunos alimentos = 6.25

3.9.6 DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA

Para esta determinación se pesaron 2 g de la muestra previamente desengrasada y se colocaron en vasos Berzelius de 600 mL, a cada vaso se le agregó 100 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 0.225 N.

Se abrió la llave del digestor (Labconco) y se colocaron los vasos Berzelius, teniendo cuidado de ajustar lentamente la parrilla con resorte y de que la boca del vaso cubra totalmente la campana del aparato. Se encendió la parrilla hasta una temperatura de 2 a 3.5 °C, se dejó calentar 30 minutos, contando el tiempo a partir de que empezó la ebullición, se controló la temperatura de la parrilla manteniendo la ebullición suave.



Figura 25. Digestor Labconco con vasos de Berzelius instalados.

Fuente: S.G.M., 2017.

Se calentó agua destilada previamente y se colocó en una pisseta, se colocaron los embudos sobre la base de madera adaptada para ellos, colocando encima de cada embudo un filtro de tela de lino.

La muestra se retiró pasados los 30 minutos de ebullición y se llevó a filtrar, se lavó el vaso con agua destilada caliente y se volvió a filtrar el líquido, el filtro de tela de lino que contiene los sólidos se lavó con agua destilada caliente, por último se tomó el filtro de

tela de lino y con ayuda de una espátula se retiraron los sólidos residuales, se colocaron dentro de un crisol de porcelana identificado y puesto previamente a peso constante en una estufa de secado a 100 °C.

A continuación el crisol se regresó a la estufa de secado por un tiempo de 24 horas, al finalizar el tiempo se tomó cada crisol con las pinzas para crisol y se colocaron en un desecador con sílica gel, se esperó 20 minutos para que enfríen y se llevaron a pesar en una balanza analítica, registrando los pesos para su posterior utilización.

Los crisoles de porcelana ya pesados se colocaron dentro de la mufla a una temperatura de 600 °C en un tiempo de 2 horas, cuando pasó el tiempo determinado se apagó la mufla y se esperaron 3 horas para que el aparato se enfríe. Ya que se enfrió la mufla se sacaron los crisoles con ayuda de las pinzas para crisol y se colocaron en el desecador con sílica gel, se esperó a que enfríen durante 20 minutos. Transcurrido el tiempo se llevó a pesar cada crisol en la balanza analítica, registrando cada peso para realizar los cálculos correspondientes haciendo uso de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ FC} = \frac{\text{peso crisol con fibra seca} - \text{peso crisol con fibra ceniza}}{\text{g de muestra utilizada}} * 100$$

Dónde:

FC = Fibra Cruda.

3.9.7 DETERMINACIÓN DE AZÚCARES TOTALES POR MÉTODO FENOL SULFÚRICO

Previamente se realizó la solución de ácido sulfúrico (H₂SO₄) concentrado con fenol a una concentración de 1 mg/mL, solución que debe usarse durante las 24 horas iniciales de su preparación.

3.9.7.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Para la preparación de la muestra se pesó 1 g de muestra sobre un papel filtro (descartando el peso del papel) en la balanza analítica, la cual se agregó a un matraz Erlenmeyer de 100 mL, así como se adicionó 10 mL de agua destilada, se agitó constantemente por 20 minutos, haciendo uso de un agitador magnético y una parrilla de agitación.

3.9.7.2 REALIZACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR PARA AZÚCARES TOTALES

El rango de la curva es de 0.2 a 1 g/L.

La solución madre se realizó pesando 0.05 g de sacarosa sobre papel filtro (descartando el peso del papel) en una balanza analítica, se agregó la sacarosa en un matraz de aforo de 50 mL y se aforó con agua destilada, se agitó el matraz hasta que la sacarosa se diluyó.

Para la preparación de la curva se siguió la siguiente técnica:

Cuadro 12. Preparación de la curva estándar.

Tubo	0	1	2	3	4	5
Solución madre de sacarosa (mL)	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Agua destilada (mL)	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
Fenol sulfúrico (mL)	2	2	2	2	2	2

Fuente: S.G.M., 2017.

3.9.7.3 METODOLOGÍA PARA DETERMINAR AZÚCARES TOTALES

En un baño con hielo se colocó un tubo de ensaye de 5 mL, se adicionó 1 mL de muestra, dejando temporizar por 1 minuto sobre el hielo, se adicionó 2 mL de fenol sulfúrico lentamente por las paredes del tubo de ensaye (para que la muestra no se quemé), agitando el tubo dentro del baño con hielo, al agitar el tubo se forma una coloración café indicando que la muestra tiene una concentración alta, por lo cual se procedió a diluir de nuevo la muestra líquida, utilizando una micro pipeta se tomó 30 μ L de muestra y se agregaron a un vaso de precipitado de 100 mL, posterior a eso se tomaron 970 μ L de agua destilada y se agregaron al mismo vaso de precipitado.

Se repite la operación anterior donde al tubo de ensaye de 5 mL en un baño con hielo, se le adicionaron 1 mL de muestra, se temporiza por 1 minuto sobre el hielo, adicionando 2 mL de fenol sulfúrico lentamente por las paredes del tubo de ensaye, agitando el tubo dentro del baño, ahora al agitar se obtiene una coloración amarilla, indicando que la concentración es adecuada para continuar con la metodología. Realizando este procedimiento para cada muestra.

A continuación se puso agua en un baño de acero inoxidable y se llevó a calentar, cuando el agua esté a punto de ebullición se metieron los tubos de ensaye y se tomó un tiempo de 5 minutos, pasado el tiempo se retiraron los tubos de ensaye para enfriarlos sumergiéndolos en agua fría y pasados 2 minutos, se sacaron los tubos del agua.

Con ayuda de la micro pipeta se tomó 1 mL de muestra, se colocó en las celdas y se lee en el espectrofotómetro (Thermo Spectronic) a una absorbancia de 480 nm. Registrando los resultados para la realización del gráfico correspondiente.

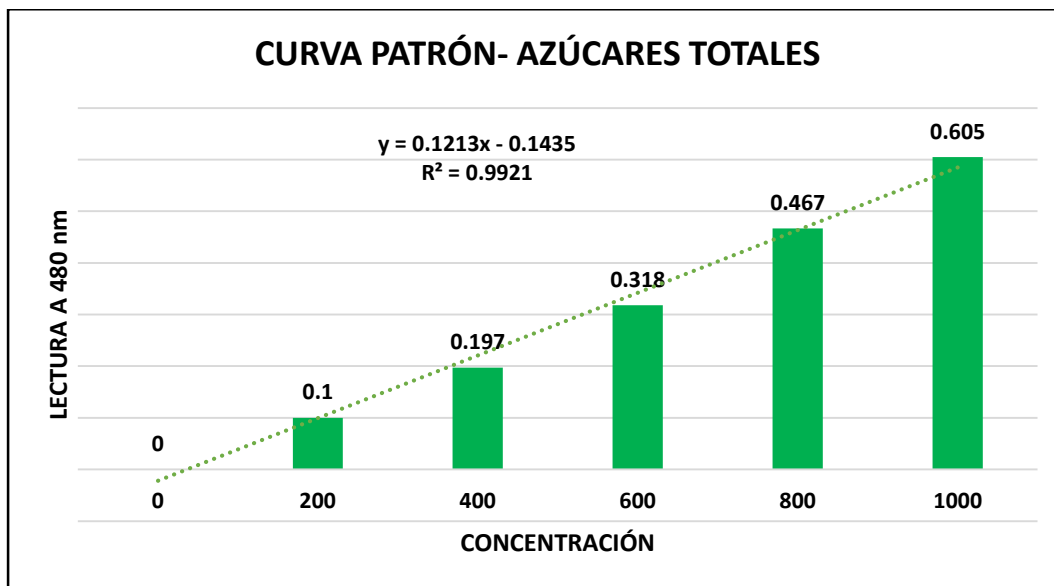


Gráfico 1. Curva estándar para azúcares totales.

Fuente: S.G.M., 2017.

3.9.8 DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES POR MÉTODO FOLIN CIOCALTEU

3.9.8.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se pesó 1 g de muestra seca sobre un papel filtro (descartando el peso del papel) en una balanza analítica, se depositó la muestra en un tubo de ensaye de 16 x 50 (forado con papel aluminio para evitar exponer la solución a la luz) y se adicionaron 10 mL de solución de acetona y agua destilada, la cual se preparó previamente mezclando 70 mL de acetona con 30 mL de agua destilada.

Se agitó la muestra en un Vortex automático (BenchMixer) hasta homogenizar, dejando reposar durante 24 horas dentro del refrigerador a una temperatura de 5 °C. Se realizó este procedimiento con cada una de las muestras.

3.9.8.2 PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE FENOLES

Transcurridas las 24 horas de reposo, se sacaron los tubos del refrigerador y se llevaron a centrifugar. La centrífuga se conectó y se ajustaron sus parámetros (3000 r.p.m. por 20 minutos). Las muestras se pasaron a tubos Corning de plástico con tapa-rosca, se colocaron los tubos de manera que coincidan uno frente al otro (para mantener nivelada la centrifuga), se cerró y asegura la tapa de la centrífuga y se esperó hasta que transcurra el tiempo programado.

Una vez que pasaron los 20 minutos y las revoluciones llegaron a cero, se procedió a abrir la centrífuga y sacar los tubos, se tomaron 400 µL del líquido sobrenadante de cada muestra cuidando de que no se vaya ningún sólido y se colocaron en un tubo de ensaye de 16 x 50. Al mismo tubo se adicionaron 400 µL de reactivo Folin Ciocalteu y se agitaron en el Vortex automático (BenchMixer) hasta homogenizar, se dejó reposar por 5 minutos.

Después de los 5 minutos se adicionaron al mismo tubo 400 µL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 0.01 M, agitando nuevamente en el Vortex automático (BenchMixer) hasta homogenizar, se dejó reposar por 5 minutos.

A continuación se adicionaron 2 mL de agua destilada al mismo tubo, se tomó 1 mL de muestra y se pasó a una celdilla para leer inmediatamente en espectrofotómetro a 725 nm. Realizando todo este procedimiento para cada muestra y registrando la lectura obtenida para la realización de la curva.

3.9.8.3 ELABORACIÓN DE LA CURVA ESTÁNDAR PARA FENOLES TOTALES

Para la elaboración de la curva, se utilizó una solución estándar de ácido gálico (protegiéndola de la luz) a una concentración de 500 ppm.

Se preparó la solución madre o estándar de ácido gálico, pesando 0.025 g de ácido gálico sobre un papel filtro (descartando el peso del papel) en una balanza analítica y

depositando en un matraz de aforo de 50 mL, después se aforó con agua destilada y se agitó hasta homogenizar.

A continuación se describe el procedimiento para la realización de la curva estándar:

Cuadro 13. Procedimiento para curva estándar de ácido gálico.

Tubos	0	1	2	3	4	5
Sol. Madre de ácido gálico (µL)	0	100	200	300	400	500
Agua destilada (µL)	500	400	300	200	100	0
Reactivo Folin Ciocalteu (µL)	400	400	400	400	400	400
Agitar tubos en Vortex automático (BenchMixer) hasta homogenizar						
Reposar por 5 minutos						
Agua destilada (mL)	2	2	2	2	2	2

Fuente: S.G.M., 2017.

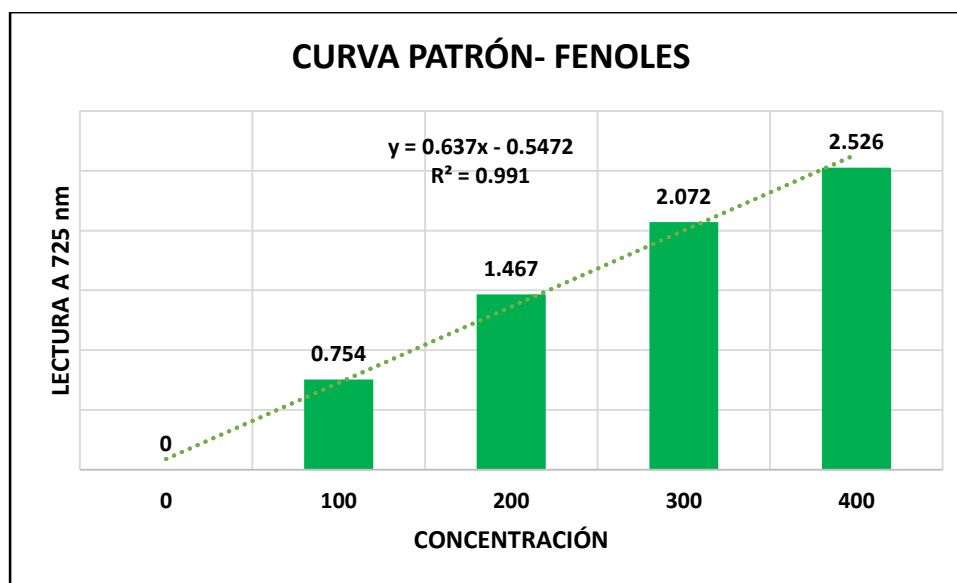


Gráfico 2. Curva estándar para fenoles totales.

Fuente: S.G.M., 2017.

3.10 DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS (EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO)

El extracto libre de nitrógeno (ELN) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{ELN} = 100 - (\text{A} + \text{B} + \text{C} + \text{D})$$

Donde:

A = Contenido de proteína cruda (%)

B = Contenido de lípidos crudos (%)

C = Contenido de fibra cruda (%)

D = Contenido de ceniza (%)

3.11 DETERMINACIÓN DE CONTENIDO CALÓRICO (Kcal/100g)

Los valores de energía se calcularon a partir de los factores Atwater (FAO, 2003; Mahan *et al.*, 2013).

$$\frac{4 \frac{\text{kcal}}{\text{g}} - 100 \%}{x - \text{PC} \%} \quad \frac{9 \frac{\text{kcal}}{\text{g}} - 100 \%}{x - \text{EE} \%} \quad \frac{4 \frac{\text{kcal}}{\text{g}} - 100 \%}{x - \text{CHO} \%} \quad \longrightarrow \quad \frac{\text{Kcal}}{100 \text{ g}} = \left(\text{PC} \frac{\text{Kcal}}{\text{g}} + \text{EE} \frac{\text{Kcal}}{\text{g}} + \text{CHO} \frac{\text{Kcal}}{\text{g}} \right) * 100$$

Dónde:

PC = Proteína Cruda

EE = Extracto Etéreo

CHO = Carbohidratos

4 RESULTADOS

En el presente capítulo se detallan los resultados obtenidos en la etapa experimental del presente trabajo, se efectuó un análisis de varianza de los datos (ANVA) y prueba de medias de Fisher ($\alpha \leq 0.05$) empleando el paquete estadístico Statistics for Windows.

Se determinaron los resultados de las siguientes variables de estudio: Cenizas (%), Extracto Etéreo (%), Fibra Cruda (%), Proteína Cruda (%), ELN (Carbohidratos) (%), Contenido Calórico (Kcal/100 g), de las diferentes muestras de pan dulce (tres repeticiones para el testigo y cada tratamiento).

- **Testigo:** Pan dulce elaborado con harina de trigo (mezcla preparada para hot cakes marca Hill Country Fare).
- **Formulación 1:** Pan dulce adicionado con harina de germinado de trigo al 5%.
- **Formulación 2:** Pan dulce adicionado con harina de germinado de trigo al 15%.
- **Formulación 3:** Pan dulce adicionado con harina de germinado de trigo al 25%.

Los resultados de la comparación de medias de las variables de estudio en cuanto al tipo de harina, se expresan en el Cuadro 14, además se hace una discusión de los mismos de acuerdo a lo mencionado en la literatura.

Cuadro 14. Comparación de medias de las variables de estudio en cuanto al tipo de harina.

Tipo de Harina	Harina de Trigo Integral	Harina de Germinado de Trigo
% Cenizas	4.56 ± 0.03	2.51 ± 0.03
% Proteína	11.22 ± 0.13	22.72 ± 0.13
% Grasa	1.87 ± 0.03	2.12 ± 0.03
% Fibra	0.66 ± 0.25	7.64 ± 0.25
% Carbohidratos	81.68 ± 0.17	65 ± 0.17
Energía (kcal/100 g)	387 ± 1.31	368.33 ± 1.31

Fuente: S.G.M., 2017.

Los resultados de la comparación de medias de las variables de estudio por la concentración de harina de germinado de trigo se expresan en el Cuadro 15, además se hace una discusión de los mismos de acuerdo con lo mencionado en la literatura.

Cuadro 15. Comparación de medias de las variables de estudio en las diferentes formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).

Formulaciones	0%	5%	15%	25%
% Cenizas	4.94 ± 0.003 _a	4.87 ± 0.003 _a	4.71 ± 0.003 _b	4.45 ± 0.003 _c
% Proteína	12.39 ± 0.12 _c	13.17 ± 0.12 _b	13.24 ± 0.12 _b	14.71 ± 0.12 _a
% Grasa	12.79 ± 0.02 _a	11.82 ± 0.02 _b	11.35 ± 0.02 _c	10.57 ± 0.02 _d
% Fibra	0.63 ± 0.007 _d	1.00 ± 0.007 _c	1.58 ± 0.007 _b	2.95 ± 0.007 _a
% Carbohidratos	69.24 ± 0.20 _{a*}	69.12 ± 0.20 _a	69.11 ± 0.20 _a	67.30 ± 0.20 _b
Energía (kcal/100 g)	440 ± 1 _a	434.33 ± 1 _b	430.33 ± 1 _c	421.66 ± 1 _d

* Los valores promedio seguidos de la misma literal son estadísticamente iguales según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

Fuente: S.G.M., 2017.

4.1 HUMEDAD Y MATERIA SECA TOTAL

En el Cuadro 16 se muestran los resultados de las variables Materia Seca Total (%MST) y la Humedad (%H), de las diferentes formulaciones mencionadas anteriormente (0%, 5%, 15%, 25%).

Se obtuvieron los resultados en base seca de las Cenizas (%), Extracto Etéreo (%), Fibra Cruda (%), Proteína Cruda (%) y a partir del resultado con base en materia seca total determinar el ELN (Extracto Libre de Nitrógeno) (CHO) (%) y el Contenido Calórico (kcal/100 g).

Cuadro 16. Resultados de medias de las variables MST y H.

Concentración de Harina de Germinado de Trigo	0%	5%	15%	25%
% MST	91.78	90.58	90.61	89.33
% H	8.22	9.42	9.39	10.67

Fuente: S.G.M., 2017.

Se puede destacar el aumento de humedad existente en la harina del grano germinado, que va a influir en el contenido del resto de componentes. En el trigo supera el 9%, lo que indica que por su propia estructura absorbe más agua durante el proceso de germinación (Ponce de León *et al.*, 2011).

4.2 CENIZA TOTAL

En el Gráfico 3 se muestra que el contenido de ceniza total (%) según el tipo de harina es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Siendo la razón de esto el hecho de que la harina integral es una mezcla preparada y adicionada con calcio y otros minerales, haciendo que la diferencia sea aún más significativa entre ambas.

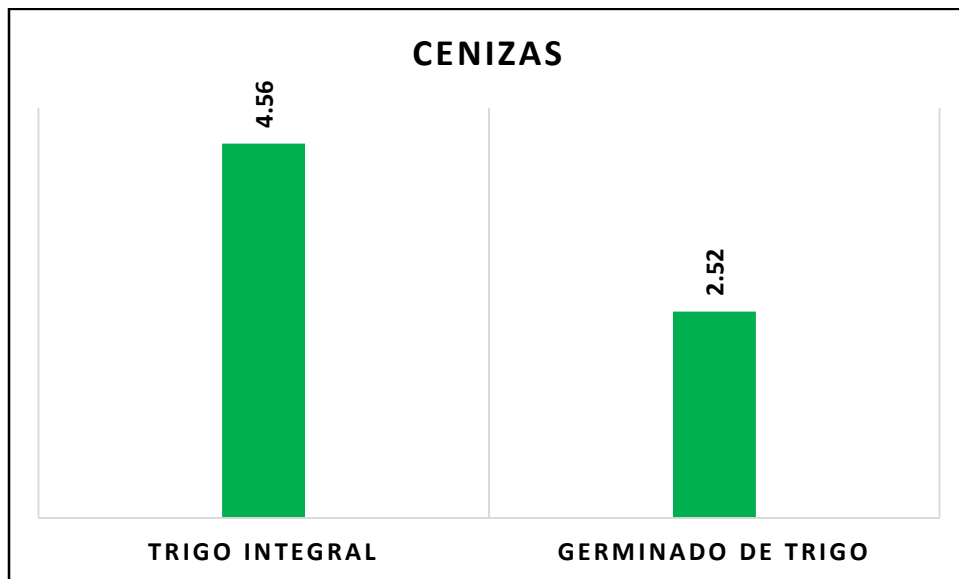


Gráfico 3. Comparación de medias de ceniza total de acuerdo al tipo de harina.

Fuente: S.G.M., 2017.

En el Gráfico 4 se muestra que el contenido de ceniza total (%) con base en la concentración de harina de germinado de trigo (0%, 5%, 15%, 25%), los cuales son estadísticamente diferentes según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

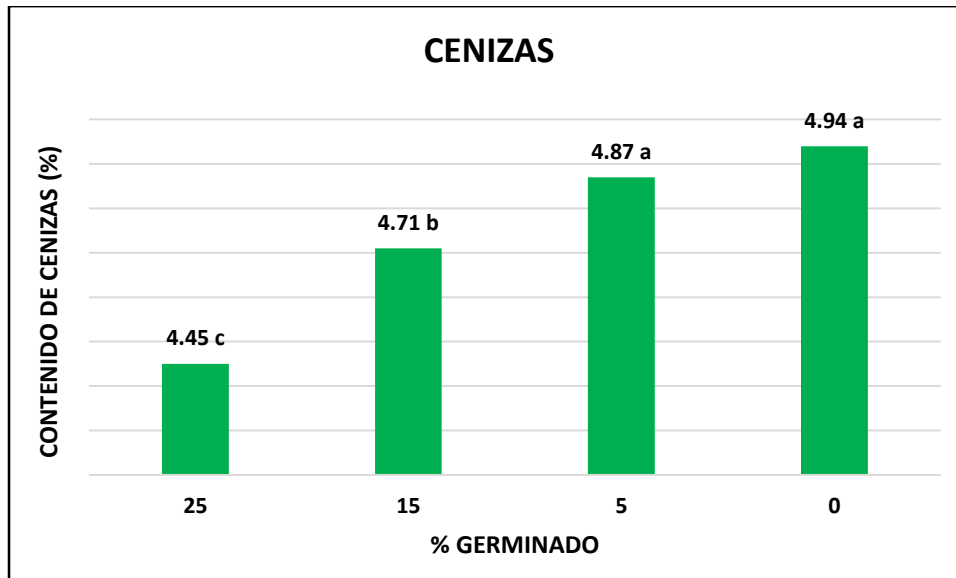


Gráfico 4. Comparación de medias de ceniza total de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).

Fuente: S.G.M., 2017.

Como resultado se obtiene que entre mayor sea el porcentaje de H.G.T que se adicione a la masa de pan dulce, menor será el contenido de cenizas, esto puede deberse a que en el trigo las cenizas representan el contenido en sales minerales del trigo o de la harina, expresado en porcentaje. De acuerdo con López Bellido (1990), las zonas externas del grano y las capas periféricas del endospermo son las que tienen mayor proporción de sales minerales, al someter el grano a una germinación se deshecha gran parte de las partes externas del mismo, disminuyendo el porcentaje de cenizas.

4.3 EXTRACTO ETÉREO O GRASA TOTAL

En el Gráfico 5 se muestra que el contenido de extracto etéreo o grasa total (%) en base al tipo de harina es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Como ya se mencionó anteriormente la harina de trigo integral es una mezcla preparada por lo cual se hace la suposición de que la fortificación que posee la misma es el factor que hace variar el contenido de grasa total (Ponce de León *et al.*, 2011).

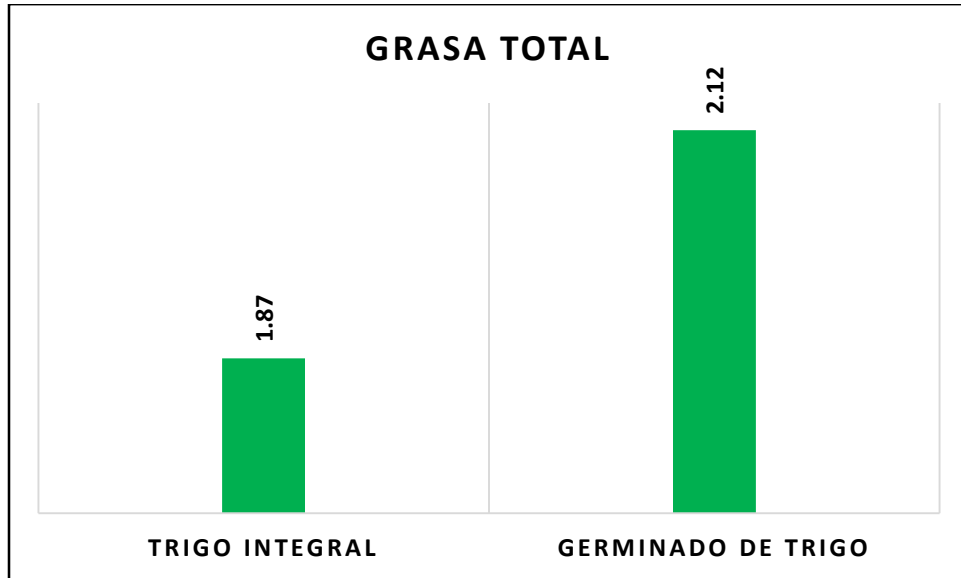


Gráfico 5. Comparación de medias de grasa total de acuerdo al tipo de harina.

Fuente: S.G.M., 2017.

En el Gráfico 6 se muestra que el contenido de extracto etéreo o grasa total (%) con base en el tipo de formulaciones (0%, 5%, 15%, 25%) es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

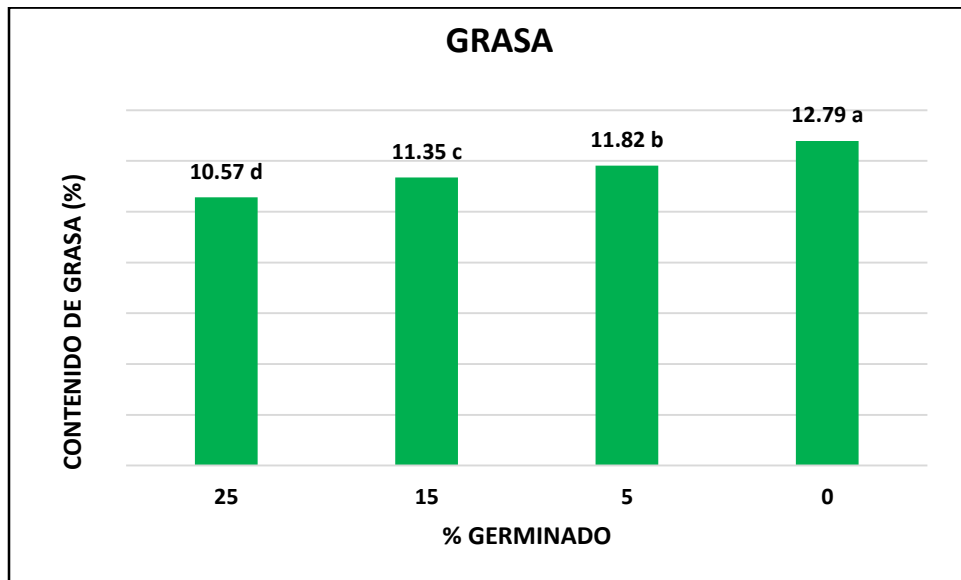


Gráfico 6. Comparación de medias de grasa total de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).

Fuente: S.G.M., 2017.

En el estudio realizado por Ponce de León *et al* (2011), los valores de grasa encontrados en su estudio sobre la germinación de soya y trigo, fueron inferiores a 2 g/100 g de alimento fresco siendo mucho mayor en el trigo y casi inapreciable en la soya verde, en la que el valor fue inferior a 0.2%, atribuyendo el descenso al tiempo de germinación, debido a que la disminución de las reservas de nutrientes (lípidos) para el requerimiento de energía se produce a partir de las 72 horas de germinación.

Los valores de grasa resultantes en este estudio concuerdan con lo descrito por Ponce de León *et al* (2011); en este caso la razón del descenso en el porcentaje de grasa total en las formulaciones de pan, es el aumento en el porcentaje adicionado de H.G.T y comparando una formulación a la que no se le adicionó H.G.T (0%) con la formulación a la que se le adicionó la mayor cantidad de H.G.T (25%), la disminución fue de un 2.22% del contenido de grasa total en el pan analizado.

4.4 FIBRA CRUDA

En el Gráfico 7 se muestra que el contenido de fibra cruda (%) según el tipo de harina es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$). De acuerdo con Ponce de León *et al* (2011), la fibra es muy destacada en el germinado de trigo y el resultado es notoriamente visible en la comparación realizada entre los dos tipos de harina.

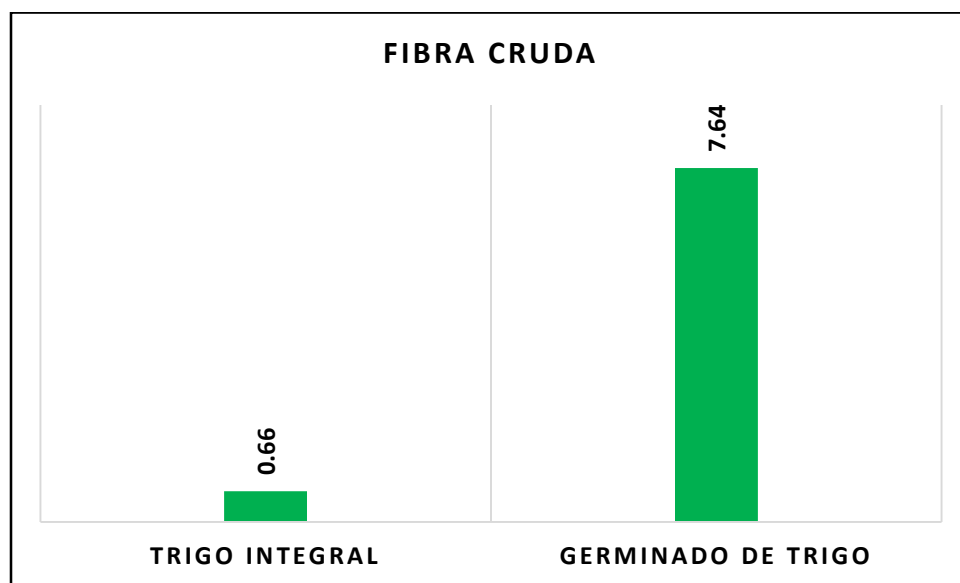


Gráfico 7. Comparación de medias de fibra cruda de acuerdo al tipo de harina.

Fuente: S.G.M., 2017.

En el Gráfico 8 se muestra que el contenido de fibra cruda (%) con base en el tipo de formulaciones (0%, 5%, 15%, 25%) es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

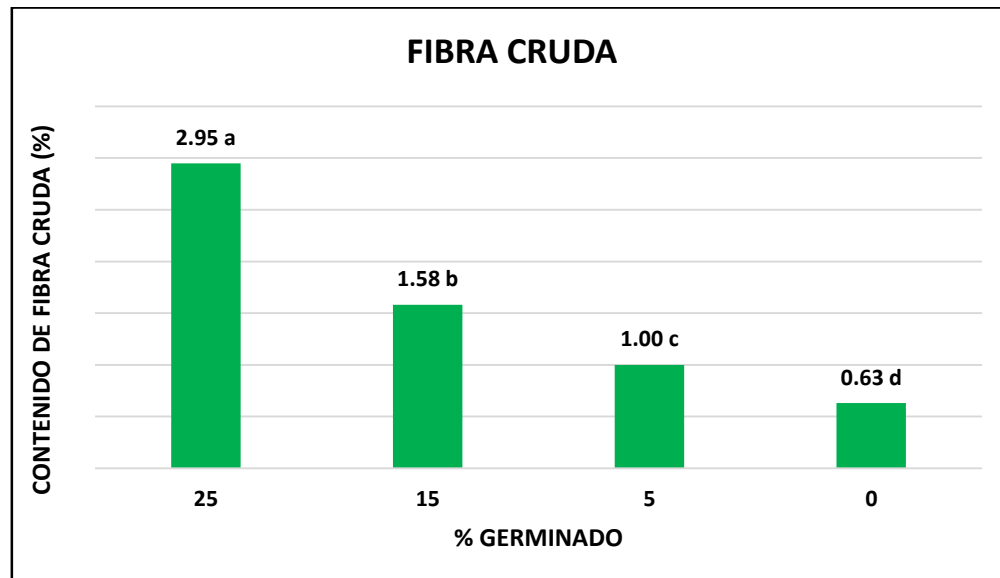


Gráfico 8. Comparación de medias de fibra cruda de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).

Fuente: S.G.M., 2017.

En el estudio realizado por Ponce de León *et al* (2011), la fibra es muy destacada en los germinados de trigo, en los que llegó a superar los 9 g/100 g muy por encima una vez más, del valor encontrado en los de soya verde, en los que no llegó a 2%.

Comparando el resultado obtenido por Ponce de León *et al* (2011), con el aumento que obtuve de la relación de una formulación a la que no se le adicionó H.G.T (0%) con la formulación a la que mayor cantidad de H.G.T (25%) se adicionó, conseguí un aumento del contenido de fibra cruda del 2.32%, siendo esto otra similitud comprobada, en este caso, en la aplicación de una harina de germinado de trigo en un pan dulce. La importancia de la fibra en nuestra alimentación se debe a que al llegar al intestino grueso, es degradada por la microbiota colónica, dando como productos de fermentación ácidos grasos de cadena corta, hidrógeno, dióxido de carbono y metano. Los ácidos grasos de cadena corta representan no sólo una forma de recuperar energía, sino que van a estar implicados en otras funciones benéficas para el organismo humano y en este sentido los germinados de trigo son una fuente sustancial de fibra (Escudero y Gonzáles, 2006).

4.5 PROTEÍNA CRUDA

En el Gráfico 9 se muestra que el contenido de proteína cruda (%) con base en el tipo de harina es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$). En los resultados obtenidos podemos observar que el germinado de trigo tuvo un aumento de casi el doble del contenido de proteína cruda a diferencia de la harina de trigo integral.

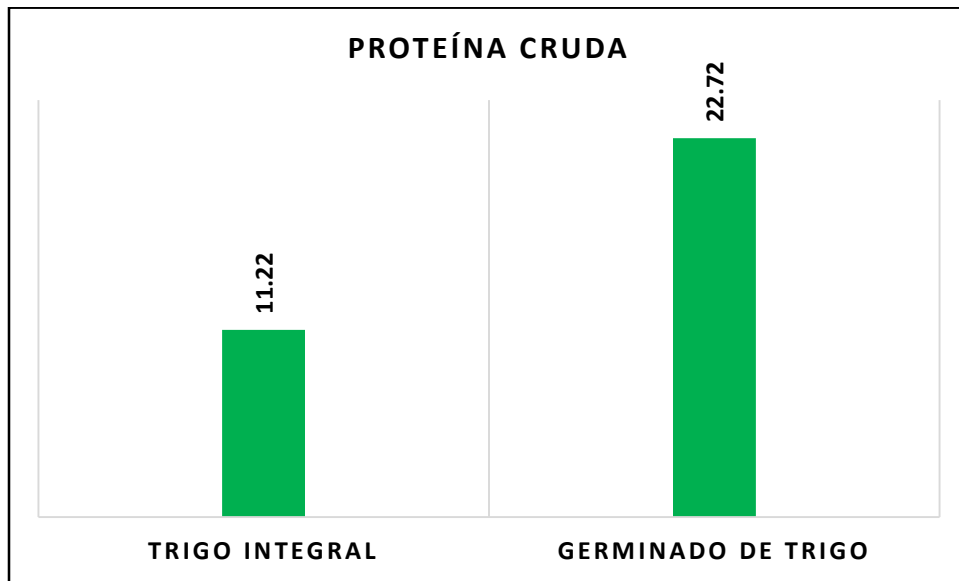


Gráfico 9. Comparación de medias de proteína cruda de acuerdo al tipo de harina.

Fuente: S.G.M., 2017.

En el Gráfico 10 se muestra que el contenido de extracto de proteína cruda (%) según el tipo de formulaciones (0%, 5%, 15%, 25%) es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

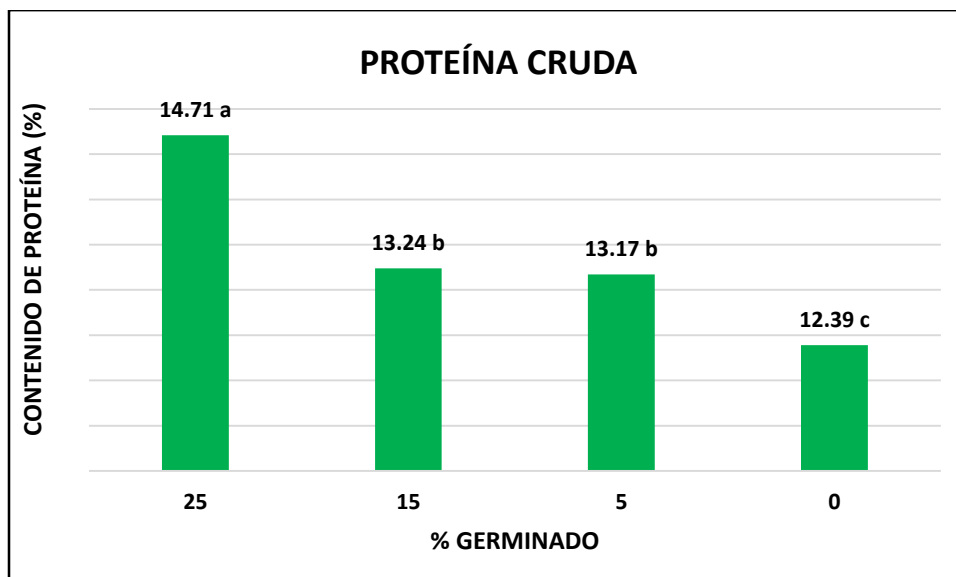


Gráfico 10. Comparación de medias de proteína cruda de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).

Fuente: S.G.M., 2017.

El contenido de proteína cruda tuvo un aumento significativo de 2.32%, similar al obtenido en el estudio realizado por Ponce de León *et al* (2011), donde destaca la gran diferencia de proteína entre los dos tipos de germinados, siendo muy superior en el de trigo, del orden de tres veces mayor que en el de la soja verde. El contenido de proteínas del germinado de soja verde es de 2.16%, demostrando que el proceso de germinación dio origen a un aumento de la concentración de proteína bruta a las 48 horas de germinación.

4.6 EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO (CARBOHIDRATOS)

En el Gráfico 11 se muestra que el contenido de ELN (carbohidratos) (%) con base en el tipo de harina es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$). De acuerdo con Ponce de León *et al* (2011), los carbohidratos totales y solubles se han hidrolizado durante el proceso como fuente de energía; esto explica la diferencia del 16.68% existente entre ambas harinas, es decir, el proceso de germinación provocó la hidrolización de los carbohidratos totales y solubles presentes en los granos de trigo, siendo esto la disminución en su contenido.

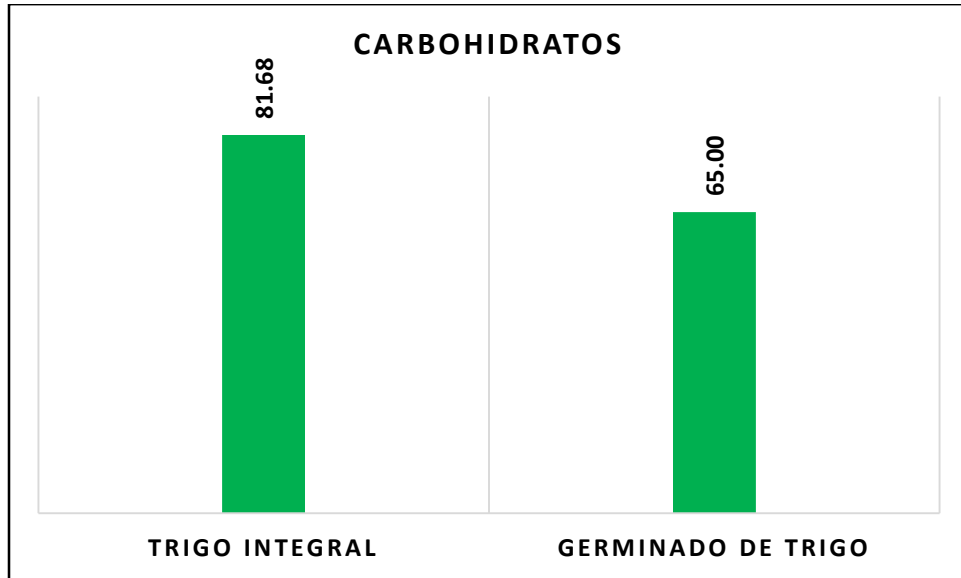


Gráfico 11. Comparación de medias de extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) de acuerdo al tipo de harina.

Fuente: S.G.M., 2017.

En el Gráfico 12 se muestra que el contenido de ELN (%) en base al tipo de formulaciones (0%, 5%, 15%, 25%) es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

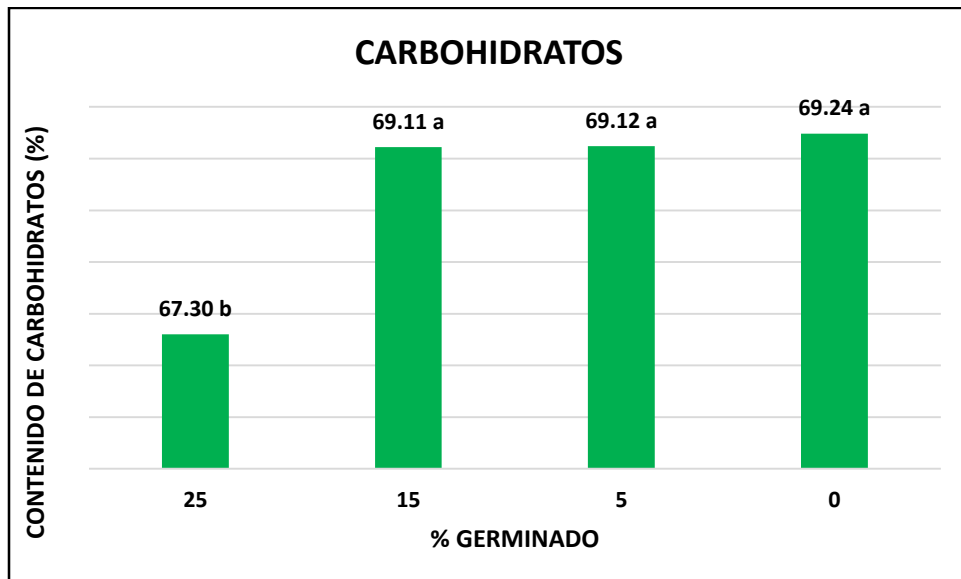


Gráfico 12. Comparación de medias de extracto libre de nitrógeno (carbohidratos) de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).

Fuente: S.G.M., 2017.

Los resultados del Gráfico 12 expresan que aun cuando se adicionó H.G.T a la mezcla de pan dulce en concentraciones del 5 y 15% no varió su contenido de ELN en comparación con el testigo (0%); sin embargo se ha llegado a la resolución de que es necesario adicionar una cantidad igual o mayor al 25% de H.G.T a la mezcla de pan dulce con el fin de observar una disminución en su contenido de carbohidratos. Comparando los resultados con lo realizado por Ponce de León *et al* (2011), los germinados de trigo destacan en cuanto a la cantidad de hidratos de carbono disponibles, con un porcentaje de 30.3% frente al 2.6% de la soya verde.

4.7 CONTENIDO CALÓRICO

En el Gráfico 13 se muestra que el contenido calórico (kcal/100 g) según el tipo de harina es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$). Se observa que la H.G.T aporta 18.67 Kcal/ 100 g menos que la harina de trigo integral, siendo esta una ventaja para cualquier alimento al que se adicione H.G.T.

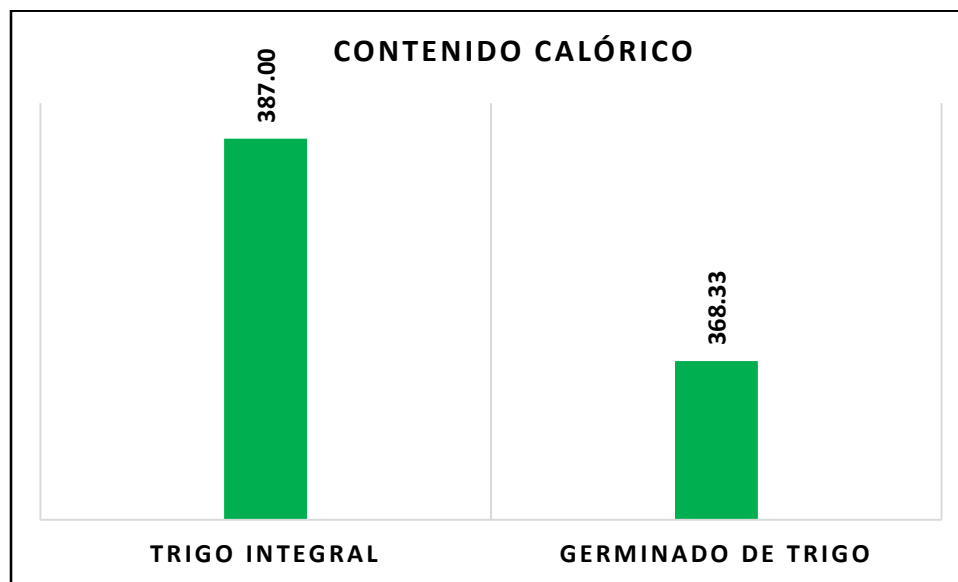


Gráfico 13. Comparación de medias del contenido calórico de acuerdo al tipo de harina.

Fuente: S.G.M., 2017.

En el Gráfico 14 se muestra que el contenido calórico (Kcal/100 g) en base al tipo de formulaciones (0%, 5%, 15%, 25%) es estadísticamente diferente según Fisher ($\alpha \leq 0.05$).

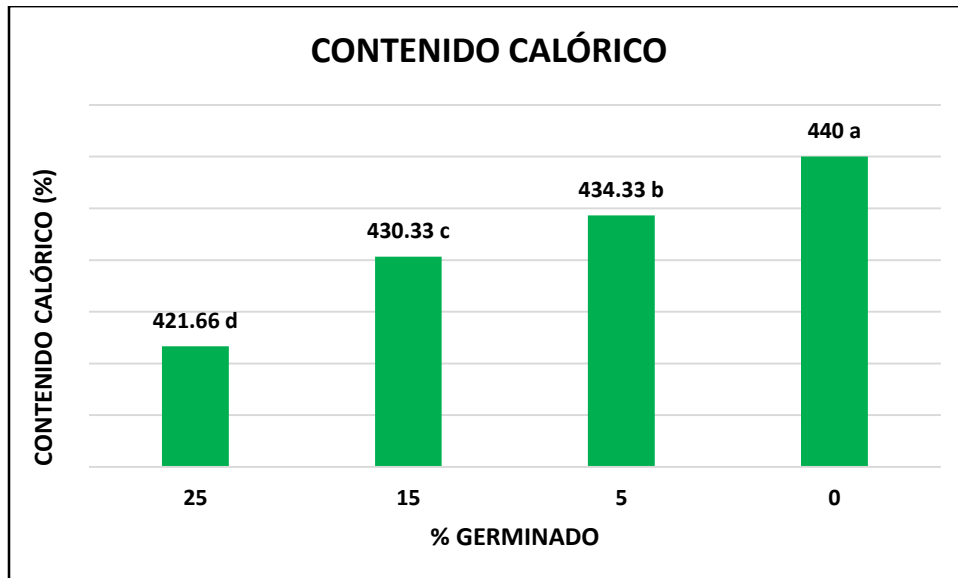


Gráfico 14. Comparación de medias del contenido calórico de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).

Fuente: S.G.M., 2017.

Al calcular la energía de las distintas formulaciones de pan dulce, nuevamente quedan patentes las diferencias entre ambas, lo que está en función del contenido de macronutrientes (Ponce de León *et al*, 2011). Comparando el testigo (0%) con la formulación que mayor contenido de H.G.T tenía (25%), la diferencia fue de 18.34 Kcal/100 g. Es de gran importancia el bajo aporte calórico que corresponde a los germinados de trigo, lo que puede hacer que sean muy útiles en regímenes de control de peso.

4.8 AZÚCARES TOTALES

En el Gráfico 15 se muestra que el contenido de azúcares totales (mg/g) en base al tipo de harinas tuvo una disminución de casi 100 mg/g, siendo la H.G.T la harina que al disminuir el contenido de azúcares produce un beneficio a la salud.

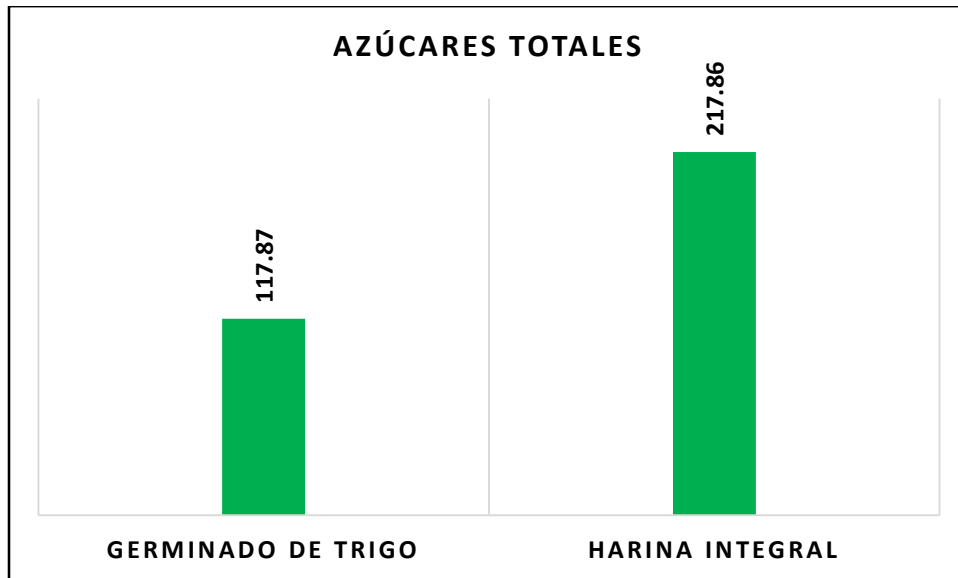


Gráfico 15. Comparación del contenido de azúcares totales de acuerdo al tipo de harina.

Fuente: S.G.M., 2017.

En el Gráfico 16 se muestra que el contenido de azúcares totales (mg/g) según el tipo de formulaciones (0%, 5%, 15%, 25%) aumenta de manera gradual, siendo, quizás, la razón de este aumento el contenido de algunos ingredientes como el extracto de vainilla y la miel de agave.

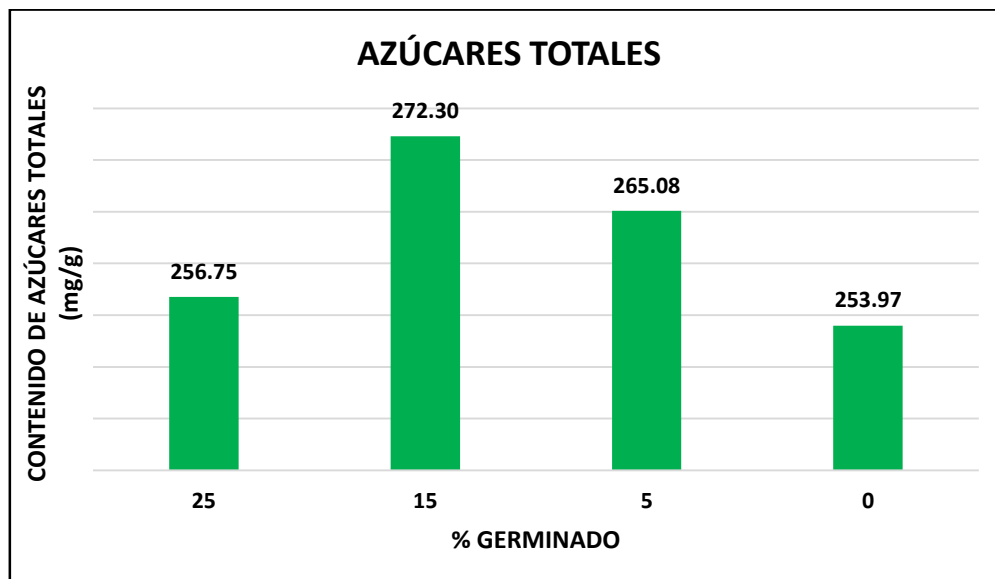


Gráfico 16. Comparación del contenido de azúcares totales de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).

Fuente: S.G.M., 2017.

4.9 FENOLES

En el Gráfico 17 se muestra que el contenido de fenoles (mg/g) según el tipo de harinas es de 0.889 mg/g, significando esto que el someter al grano al proceso de germinación aumenta en casi 1 mg/g su cantidad de fenoles, compuestos que poseen capacidad antioxidante.

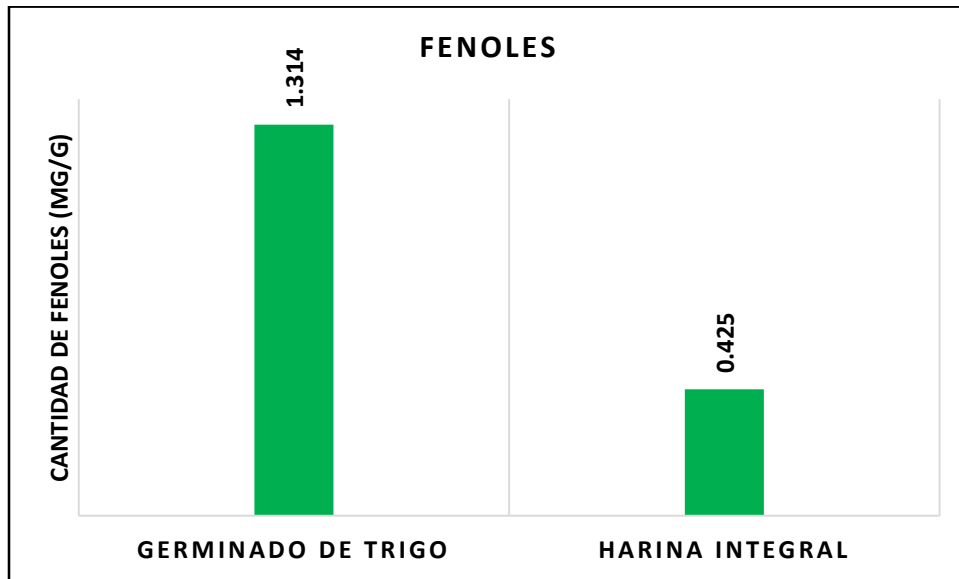


Gráfico 17. Comparación del contenido de fenoles de acuerdo al tipo de harina.

Fuente: S.G.M., 2017.

En el Gráfico 18 se muestra que el contenido de fenoles (mg/g) según el tipo de formulaciones (0%, 5%, 15%, 25%), la información del gráfico confirma que la adición de H.G.T en su mayor proporción (formulación al 25%) da mayor beneficio, que a comparación del testigo (0%) enriqueció al pan dulce en 0.164 mg/g de fenoles.

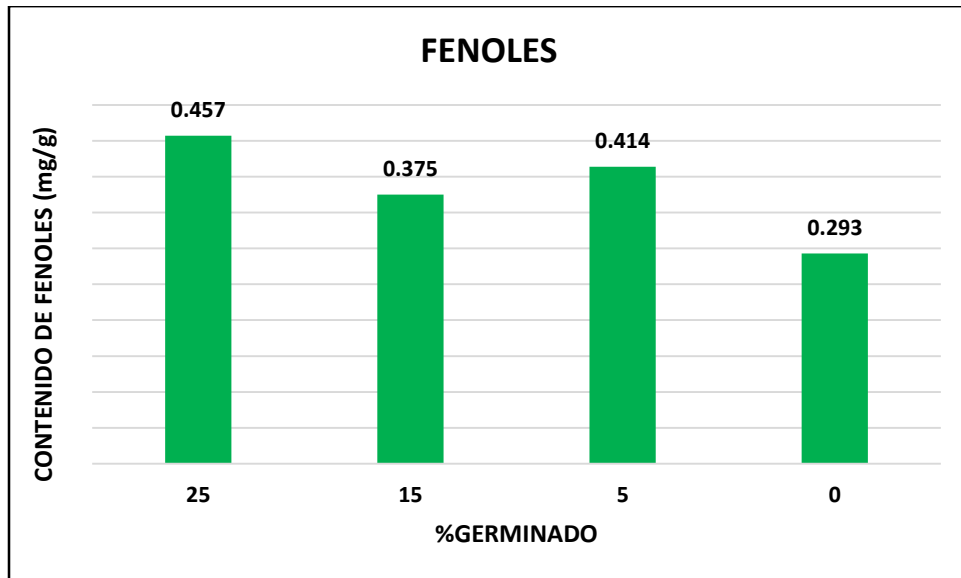


Gráfico 18. Comparación del contenido de fenoles de acuerdo a las formulaciones de pan dulce (0%, 5%, 15%, 25%).

Fuente: S.G.M., 2017.

5 CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos de la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se obtuvo un porcentaje de germinación del 80%, así como una baja cantidad de granos contaminados por microorganismos.
- Se elaboraron panes enriquecidos con harina de germinado de trigo (*Triticum aestivum*. AN-91-98) en diferentes concentraciones y otro pan dulce elaborado con harina de trigo comercial.
- Se obtuvo una comparación nutricional de todas las variables fisicoquímicas estudiadas determinando que por mucho, la harina de germinado de trigo es la que mayor beneficio aporta al consumidor, siendo en este caso utilizada para la elaboración de un pan dulce.
- Se determinaron las concentraciones de H.G.T utilizadas en la elaboración de los panes, que fueron de 0%, 5%, 15% y 25% en una porción total de 100 g, encontrando que la formulación al 25% de H.G.T presentó los mejores resultados para las variables estudiadas (ceniza 4.45%, extracto etéreo 10.57%, fibra cruda 2.95%, proteína cruda 14.71%, ELN 67.30%, fenoles 0.457 mg/g y contenido calórico 421.66 Kcal/100g).

6 REFERENCIAS

A.O.A.C (1980), Association of Official Agricultural Chemists. Official Methods of Analysis, 16 th ed. Association of Analytical Chemists, Washington, D.C. pp. 1141.

Astiasarán Anchia Iciar y Martínez Hernández Alfredo. 2000. Alimentos Composición y Propiedades. Navarra. España. 135-192 pp.

Cabrera, et al. 2009. Contenido de fenoles solubles e insolubles en las estructuras del grano de maíz y su relación con propiedades físicas. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. Estado de México. ISSN 827-839.

Carbajal Azcona Ángeles. 2013. *Energía*. Manual de Nutrición y Dietética. Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. España. 1-3 pp.

Cisan. 2011. *La ciencia de los azúcares*. Fundación del Consejo Internacional de Información Alimentaria. Washington. D.C. 1-15 pp.

Hernández Becerra, et al. 2010. *Un prebiótico: Miel de maguey*. Instituto Tecnológico de Linares. Nuevo León. ISSN 1870-0160.

Kent Jones D. W. y Amos A. J. 1956. *Química Moderna de los Cereales*. Madrid. España. 3 pp.

López Bellido Luis. 1990. *Cultivos Herbáceos. Vol. 1. Cereales*. Córdoba. España. 25. 189-240. 505-538 pp.

Ponce de León Carolina., et al. 2013. *Utilidad en la alimentación de algunas semillas germinadas: brotes de soja y trigo*. Departamento de Nutrición y Bromatología II. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. Madrid. España. ISSN: 0366-3272.

Ponce Julián. 2008. *La Cola de Caballo-Equisetum Arvense (Preparado 508. Uso y Virtudes)*. Asociación de Agricultura Biodinámica de España. Madrid. España. 1-4 pp.

Reyes Bonilla Jorge Arturo. 2015. *Las calorías no se comen*. Termodinámica y Bioquímica. XXV Congreso Nacional de Termodinámica. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México. D. F.

Sánchez, *et al.* 2015. *Indicaciones de diferentes tipos de fibras en distintas patologías*. Nutrición Hospitalaria. Unidad de Nutrición Clínica y Dietética. Hospital Universitario La Paz. Instituto de Investigación Biomédica del Hospital Universitario La Paz. Universidad Autónoma de Madrid. España. ISSN 0212-1611.

Suzanne Nielsen S. 2003. *Análisis de los alimentos*. Purdue University. West Lafayette. Indiana. 99 – 240 pp.

Zumbado Fernández Héctor. 2004. *Análisis químico de los alimentos. Métodos Clásicos*. Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de la Habana. Cuba. 7 pp.