

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



**Efecto de tipo de secado en las características nutrimentales de
la harina de *Beta vulgaris* para la elaboración de un pan
funcional**

Por:

RAMIRO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2021

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

Efecto de tipo de secado en las características nutrimentales de la harina de *Beta vulgaris* para la elaboración de un pan funcional

TESIS

Presentada por

RAMIRO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

APROBADA

Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
Presidente

Dra. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Vocal

MC. Carolina Losoya Sifuentes

Vocal

Dra. María Elena Castelo Mejía

Vocal

Dr. José Dueñez Alanís
Coordinador de la División de Ciencia Animal

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México



Junio de 2021

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL**

Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos

**Efecto de tipo de secado en las características nutrimentales de
la harina de *Beta vulgaris* para la elaboración de un pan funcional**

T E S I S

Presentada por

RAMIRO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

Y que somete a consideración del H. Jurado Examinador como requisito parcial para
obtener el título profesional de

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Fue dirigida por el siguiente comité:



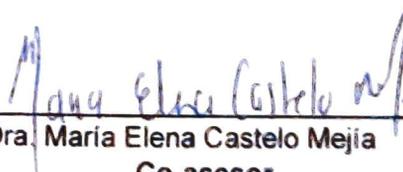
Dr. Mario Alberto Cruz Hernández
Asesor principal



MC. Carolina Losoya Sifuentes
Co-asesor



Dr. Ruth Elizabeth Belmares Cerda
Co-asesor



Dra. María Elena Castelo Mejía
Co-asesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2021

DEDICATORIAS

A mis padres Cirila Hernández Martínez y Lucas Hernández Hernández, las dos personas maravillosas a quien más amo en este mundo, ellos son el pilar más importante en mi vida y me han demostrado lo importante que soy para ellos, les agradezco su amor, comprensión, apoyo incondicional y también sus oraciones. Ustedes fueron mi motor estos años durante la carrera, los consejos, enseñanzas de vida y valores me forjaron a ser una mejor persona, les agradezco infinitamente todo lo que han hecho por mí, por estar a cada momento en que los necesité y por siempre creer en mí, me siento muy orgulloso de ser su hijo. Muchas gracias, los AMO con todo mi corazón.

A mis hermanos quienes me han brindado los mejores momentos de la infancia, por estar ahí siempre que los necesito, a mi hermano Lucas por también ser mi mejor amigo, aquel en el que puedo confiar, gracias por todo tu apoyo y motivación para seguir adelante. A mi hermana Josabeth por siempre apoyarme y preocuparse por mí, los AMO, gracias por todo.

A mi abuelo Antonio, esa persona maravillosa que me cuida desde el cielo, gracias por esos consejos, hasta el último que me diste. Sé que estarías muy orgulloso de verme lograr esta meta. Muchas gracias por todo, te quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por darme tanto, conocimientos, experiencias, y en especial amigos. Gracias a todos los maestros que me dieron catedra y que me brindaron su conocimiento.

Muchas gracias a mi asesor Dr. Mario Alberto Cruz Hernandez por brindarme la asesoría y apoyarme tanto, por siempre estar a disposición para la realización y conclusión de este trabajo.

A la facultad de ciencias químicas en la Universidad Autónoma de Coahuila, a la Dra. Ruth Belmares por brindarme el acceso al laboratorio de ciencia y tecnología de alimentos y permitirme utilizar los materiales y equipos. A la Mc. Carolina Losoya Sifuentes por brindarme su apoyo y paciencia con los métodos y desarrollo de la investigación.

Gracias a mis amigos en general, en especial a mis amigos de toda la carrera por siempre estar conmigo desde el inicio, Lupita Castañeda, Rosa Isela Secundino, Seydi Sigala, Marlen Tapia, Ana Rosa Montoya, Ana Lilia Salazar y Osiel Chávez Alfaro, gracias por todos esos momentos de risas, enojos, pero sobre todo por apoyarme y creer en mí, los AMO.

ÍNDICE

DEDICATORIAS	4
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE	6
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE TABLAS	10
RESUMEN	12
1.- INTRODUCCIÓN	13
2.- JUSTIFICACIÓN	16
3.- OBJETIVOS	17
3.1.- Objetivo general	17
3.2.- Objetivos específicos	17
4.- ANTECEDENTES	18
4.1.- <i>Beta vulgaris</i>	18
4.1.2.- Características particulares	19
4.1.3.- cultivo	19
4.1.4.- Clima	20
4.1.5.- Suelo y fertilización	20
4.1.6.- Cosecha	20
4.1.7.- Pigmentos	21
4.1.8- Propiedades funcionales	23
4.2.- Formas de agua	24
4.3.- Tipos de secado	24
4.3.1.- Secado al sol / secado solar de frutas y verduras	25
4.3.2.- Secado a la sombra	26
4.3.3.- Secado osmótico	26
4.3.4- Deshidratación	26
4.4.- Efecto de la deshidratación sobre el valor nutritivo de frutas y verduras	27
4.5.- Efectos del secado en microorganismos	27
4.6.- Harinas funcionales	28
4.7.- Propiedades nutricionales del pan	29
4.8.- Panes funcionales	30

4.9.- Compuesto fenólicos totales	31
4.10.- Actividad antioxidante	31
4.11.- Propiedades antioxidantes del betabel	32
4.12.- Antioxidantes y el betabel	32
5.- MATERIALES Y MÉTODOS	34
5.1.- Materias primas	34
5.2.- Obtención de harina de betabel (Beta Vulgaris)	34
5.2.2.- Secado mediante deshidratador	34
5.2.1.- Secado mediante horno.....	34
5.2.3.- Molienda.....	35
5.3.- Formulación	35
5.4.- Panificación	36
5.5.- Evaluación de dimensiones del pan	37
5.6.- Evaluación del color	37
5.7.- Determinación de polifenoles	38
5.7.1.- Preparación de los extractos.....	38
5.8.- Cuantificación de contenido de polifenoles totales (CPT)	38
5.9.- Determinación de capacidad antioxidante (ABTS)	39
5.10.- Determinación de capacidad antioxidante (DPPH)	40
5.11.-Composición química	40
5.11.1- Humedad.....	40
5.11.2.- Cenizas.	41
5.11.3.- Grasas	42
5.11.4.- Proteínas	44
5.11.5.- Fibra cruda total.	44
6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
6.1.- Evaluación de dimensiones del pan	46
6.1.1Pan con harina de betabel deshidratado.....	46
6.1.2.- Pan con harina de betabel horneado	46
6.2.- Evaluación del color	47
6.2.1.- Pan de harina de betabel deshidratado	47
6.2.2.- Pan de harina de betabel horneado	48
6.1.- Polifenoles	48

6.1.1.- Pan de harina de betabel deshidratado	48
6.1.2.- Pan de harina de betabel horneado	49
6.2.- Antioxidantes (ABTS)	51
6.2.1.- Pan de harina de betabel deshidratado	51
6.2.2.- Pan de harina de betabel horneado	51
6.3.- Antioxidantes (DPPH).....	52
6.3.1.- Pan de harina de betabel deshidratado	52
6.3.2.- Pan de harina de betabel horneado	53
6.4.- Humedad	54
6.4.1.- Pan de harina de betabel deshidratado	54
6.4.2.- Pan de harina de betabel horneado	55
6.5.- Cenizas.....	57
6.5.1.- Pan de harina de betabel deshidratado	57
6.5.2.- Pan de harina de betabel horneado	58
5.6.- Grasas.....	59
6.6.1.- Pan de harina de betabel deshidratado	59
6.6.2.- Pan de harina de betabel horneado	60
6.7.- Fibra cruda.....	61
6.7.1.- Pan de harina de betabel deshidratado	61
6.7.2.- Pan de harina de betabel horneado	62
5.8.- Proteínas.....	63
6.8.1.- Pan de harina de betabel deshidratado	63
6.8.2.- Pan de harina de betabel horneado	64
7.- CONCLUSIONES	66
8.- BIBLIOGRAFIA	67

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. a) Betabel cortado para deshidratación, b) Betabel en horno, c) Betabel deshidratado.	34
FIGURA 2. a) Betabel cortado en rodajas, b) secado betabel en horno, c) Rodajas de betabel seco.	35
FIGURA 3. a) Harina de betabel deshidratado, b) Harina de betabel horneado.	35
FIGURA 4. a) Mezcla de harina e ingredientes, b) Masa para pan horneándose.	36
FIGURA 5. a) Pan de harina de betabel deshidratado, b) Pan de harina de betabel horneado.	37
FIGURA 6. Evaluación del color en pan molido.	37
FIGURA 7. a) Molienda del pan, b) Preparación de extractos, c) Extractos centrifugados.	38
FIGURA 8. a) curva de ácido gálico, b) muestras en placa para lectura en espectrofotómetro.	39
FIGURA 9. a) Microplaca con muestras, b) Lectura de muestras en espectrofotómetro.	39
FIGURA 10. a) Reactivo trolox para curva patrón, b) Muestras en microplaca para lectura en espectrofotómetro.	40
FIGURA 11. Muestras para determinación de humedad.	41
FIGURA 12. a) Pre incinerado de muestras, b) Incineración en mufla c) Resultado de cenizas en desecador.	42
FIGURA 13. a) Obtención de grasas por soxhlet, b) Muestras de grasa a peso constante.	43
FIGURA 14. a) Digestión de muestras, b) Destilación por micro kjeldhal, c) Titulación con HCL	44
FIGURA 15. a) Digestión acida de muestras, b) Incinerado de fibra en mufla.	45
FIGURA 16. Contenido de polifenoles en pan de harina de betabel deshidratado.	49
FIGURA 17. Contenido de polifenoles en pan de harina de betabel horneado.	50
FIGURA 18. Antioxidantes en pan de harina de betabel deshidratado por ABTS.	51
FIGURA 19. Antioxidantes en pan de harina de betabel horneado por ABTS.	52
FIGURA 20. Antioxidantes en pan de harina de betabel deshidratado por DPPH.	53
FIGURA 21. Antioxidantes en pan de harina de betabel horneado por DPPH.	54
FIGURA 22. Contenido de humedad en pan de harina de betabel deshidratado.	55
FIGURA 23. Contenido de humedad en pan de harina de betabel horneado.	56
FIGURA 24. Contenido de cenizas en pan de harina de betabel deshidratado.	57
FIGURA 25. Contenido de cenizas en pan de harina de betabel horneado.	58
FIGURA 26. Contenido de grasa en pan de harina de betabel deshidratado.	59
FIGURA 27. Contenido de grasa en pan de harina de betabel horneado.	60
FIGURA 28. Contenido de fibra cruda en pan de harina de betabel deshidratado.	61
FIGURA 29. Contenido de fibra cruda en pan de harina de betabel horneado.	62
FIGURA 30. Contenido de proteína en pan de harina de betabel deshidratado.	63
FIGURA 31. Contenido de proteína en pan de harina de betabel horneado.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones del pan con harina de betabel deshidratado	46
Tabla 2. Dimensiones del pan con harina de betabel horneado.....	46
Tabla 3. Parámetros de color del pan con harina de betabel deshidratado.....	47
Tabla 4. Parámetros de color del pan con harina de betabel horneado.	48

Abstract

In the present work, two types of bread were made based on commercial wheat flour and beet flour, presenting themselves as an alternative of products that do not contain fat or sugar in excess. Therefore, this proposal is focused on addressing the issue of "Food Development" and the area of knowledge in which this work impacted was in the development of new products, providing an alternative for the consumption of said vegetable, so that natural vegetables are incorporated into the diet of the Mexican population. In particular, the beet flakes were conditioned for subsequent drying using two types: oven drying (SAN-SON, HORNO CONVECTION HCX PLUS3) and drying using a tray dehydrator (EXCALIBUR). the flakes by means of a mill (HIGH SPEED MULTIFUNCTION GRINDER HC-700Y), the baking process was carried out with different concentration of beet flour, a reference was made only with commercial wheat flour and the following with 5%, 10% 15% and 20% beet flour, one with each type of flour (oven dried and dehydrator dried), were evaluated for dimensions, color, taste and appearance. In addition, tests were carried out on the content of antioxidants, polyphenols, crude fiber, fat, ash, moisture (AW) and protein content to determine if the heat treatments reduce the content of these compounds and also determine if the results indicate these flours as promising ingredients. for its use in the design of functional breads, since functional breads represent an interesting alternative because bread is among the most consumed foods in many countries.

Keywords: *Beta vulgaris*, beetroot, betacyanins, betaxanthins, heat treatments.

RESUMEN

En el presente trabajo se elaboraron dos tipos de pan a base de harina de trigo comercial y harina de betabel, presentándose como una alternativa de productos que no contengan grasas, ni azúcares en exceso. Por ende esta propuesta está enfocada en atender el tema de “Desarrollo de Alimentos” y el área de conocimiento en el que impactó este trabajo fue en el desarrollo de nuevos productos, proporcionando una alternativa de consumo de dicho vegetal, de forma que los vegetales naturales sean incorporados en la dieta de la población mexicana. En particular, se realizó el acondicionamiento del betabel en hojuelas para su posterior secado mediante dos tipos, secado en horno (SAN-SON, HORNO CONVECTION HCX PLUS3) y secado mediante un deshidratador de bandejas (EXCALIBUR), se procedió al proceso de molienda de las hojuelas mediante un molino (HIGH SPEED MULTIFUNCTION GRINDER HC-700Y), se realizó el proceso de panificación con diferente concentración de harina de betabel, se elaboró uno de referencia solo con harina de trigo comercial y los siguientes con el 5%, 10% 15% y 20% de harina de betabel, uno con cada tipo de harina (secado en horno y secado en deshidratador), se evaluaron en cuanto a las dimensiones, color, gusto y la apariencia. Además se hicieron pruebas del contenido de antioxidantes, polifenoles, fibra cruda, grasas, cenizas, humedad (AW) y contenido proteico para determinar si los tratamientos térmicos disminuye el contenido de estos compuestos y también determinar si los resultados señalan a estas harinas como ingredientes promisorios para su utilización en el diseño de panes funcionales, ya que los panes funcionales representan una alternativa interesante por encontrarse el pan entre los alimentos más consumidos en muchos países.

Palabras clave: *Beta vulgaris*, remolacha, betacianinas, betaxantinas, tratamientos térmicos.

1.- INTRODUCCIÓN

En México en los últimos años ha venido decreciendo el área sembrada de maíz, debido a muchos factores, entre ellos podemos citar a dos muy importantes: los topes en los precios de garantía y la rentabilidad que ofrecen otra diversidad de cultivos, entre ellos destacan los hortícolas, sobre todo en áreas de riego, donde algunos agricultores prefieren buscar nuevas alternativas. Dada la importancia que reviste la horticultura y la información que se tenga de ella, en México se ha desarrollado esta síntesis de información técnica respecto al cultivo del Betabel y remolacha en específico (Willman Zamora, 2017)

La remolacha (*Beta vulgaris L.*) es una hortaliza cultivada en todo el mundo, en zonas templadas, con la principal producción en Centro y Norte América, Europa y Estados Unidos. En 2011, la producción de remolacha en México superó las 14 670 toneladas. La raíz tuberosa tiene un color marrón rojizo, peridermo y una pulpa dulce almidonada succulenta roja, la pulpa de 100 remolachas frescas contienen aproximadamente 10 g de azúcares, 1.6 g de proteínas y diversas vitaminas y minerales. En México la remolacha se consume cocido en ensaladas o crudo como jugos frescos (Gómez-Aldapa et al., 2014).

La remolacha o betabel (*Beta vulgaris L.*) se cultiva principalmente por su jugo y valor nutritivo. Es una excelente fuente de calcio, magnesio, cobre, fósforo, sodio y hierro. Las raíces son las más populares para el consumo humano, tanto cocidas como crudas. A pesar de las cualidades medicinales y los beneficios de salud, pocas personas lo incluyen en su dieta diaria. Las remolachas son ricas en compuestos activos como los carotenoides, glicina, betaína, saponinas, betacianinas, folatos, betanina, polifenoles y flavonoides. Por lo tanto, la ingesta de remolacha puede considerarse un factor en la prevención del cáncer. Tiene efectos antimicrobianos, antivirales y puede inhibir la proliferación de células tumorales humanas. Las remolachas secas se pueden consumir directamente en forma de hojuelas como sustituto de los bocadillos tradicionales (altos en ácidos grasos trans) o en bebidas de fácil preparación como componente de alimentos instantáneos (López-Palacios et al., 2018).

Las frutas y verduras se han secado desde tiempos prehistóricos, el secado se ha practicado utilizando la energía y el aire del sol. Con el desarrollo de equipos de deshidratación a

principios del Siglo XIX se trasladó a las fábricas. Se utilizan los términos secado y deshidratación, sinónimo de la eliminación de la humedad de los alimentos. Sin embargo, el secado suele estar restringido al proceso en condiciones naturales utilizando energía solar. La deshidratación es el término utilizado para el proceso de eliminación de agua bajo control en condiciones de temperatura, humedad relativa y flujo de aire. Hay tres tipos fundamentales de procesos de secado: Secado al sol, Secado atmosférico controlado por lotes con deshidratadores de torre, gabinete y horno y secado continuo con cinta, canal de cinta, túnel, lecho fluidizado, esterilla de espuma, spray, deshidratadores explosivos, de microondas y de tambor. Secado sub atmosférico, como deshidratadores por congelación de estantes / cintas al vacío. Al eliminar la humedad de los alimentos naturales, se aplica energía térmica a los alimentos, agua que se evapora, se retira de las proximidades de la materia prima. Los alimentos pueden secarse en aire caliente, en vapor sobrecalentado, al vacío, en gas inerte calentado o por aplicación directa de energía de una fuente dieléctrica o de microondas radiante. Sin embargo, el aire es lo más medio común para la eliminación de la humedad de los alimentos por varias razones. Deshidratadores que usan aire son menos costosos de construir y son convenientes de instalar y operar. Usando aire como medio de secado, el sobrecalentamiento, la decoloración y el chamuscado del producto es muy importante evitado el aire también permite el secado gradual de los alimentos, evitando así la pérdida de jugo por goteo. Principalmente, hay tres funciones principales del aire en la deshidratación. Transmite energía térmica a los alimentos, vaporiza la humedad del producto y transfiere la humedad liberada al exterior de la atmósfera. Se requiere un mayor volumen de aire para vaporizar la humedad de los alimentos que para transportarlo fuera de la atmósfera de secado (ur-Rehman & Awan, 2012).

Los alimentos funcionales son aquéllos que proporcionan un efecto beneficioso para la salud más allá de su función básica nutricional. Resultan de la adición, sustitución o eliminación de ciertos componentes de los alimentos con la finalidad de reducir el riesgo de padecer enfermedades. De allí el interés en la búsqueda de nuevas fuentes como ingredientes en el desarrollo de alimentos que aporten estas características. Los panes funcionales representan una alternativa interesante, por encontrarse el pan entre los alimentos más consumidos en muchos países. En Latinoamérica, Chile es el país de mayor consumo de pan, con valores de alrededor de 98 kg/hab/año. En Argentina, los valores son

cercanos a los 72 kg/hab/año. Varios estudios muestran el uso de fuentes de fibra dietética en panes. Estos trabajos reflejan el interés por formular productos de consumo masivo enriquecidos con fibra dietética, ya que estos carbohidratos están asociados a la disminución del riesgo de ECNT tales como diabetes, enfermedades coronarias y del tracto intestinal; estos efectos metabólicos dependerían de las propiedades de hidratación, intercambio catiónico y tamaño de la partícula, Los panes funcionales representan una alternativa interesante como vehículo de nuevas fuentes de fibra. (Zuleta et al., 2012).

El pan es uno de los alimentos más famosos y tentadores del mundo debido a sus parámetros nutricionales, sensoriales y de textura. Nutricionalmente la importancia del pan es bastante evidente porque es ampliamente utilizado como fuente de carbohidratos, proteínas, vitaminas, dietéticos, fibra, antioxidantes y micronutrientes. El mantenimiento y mejora de la calidad del pan junto con su suministro es vital para la salud de las personas, por lo que también se está utilizando la adición de varios ingredientes funcionales para lograr estos objetivos. Estos productos se enriquecen principalmente con algunos alimentos que no son cereales, es decir, hierbas, frutas y verduras, es decir, calabaza, betabel, sésamo, semilla de canola, camote y semilla de algodón, etc. para impartir ciertas propiedades como textura, color, sabor y nutrición en panadería y otras industrias de procesamiento de alimentos. Las harinas compuestas son de importancia primordial en los países en desarrollo, ya que aumentan el uso de cultivos locales y reducen en cierta medida las importaciones de trigo (Ashraf et al., 2020).

2.- JUSTIFICACIÓN

Actualmente el hablar de nutrición, es una tendencia que se basa en la importancia de los hábitos de vida diarios, donde la elección de alimentos ya no solo se basa en la composición nutricional de los mismos sino también en sus propiedades, algunas de ellas asociadas a la búsqueda de un estilo de vida saludable, lo que ha generado cambios constantes en lo que comemos y comeremos a futuro.

Las harinas de vegetales son poco comunes, la utilización de betabel fresco (*Beta vulgaris*) actualmente se ve condicionada por su corta vida útil y su empleo se limita a la época de producción del cultivo. Una de las posibilidades de uso es el secado o deshidratación para la elaboración de harina, que resulta tecnológicamente factible, ya que permite obtener harina de buena calidad nutricional, para su empleo en la elaboración de alimentos.

Los alimentos actualmente demandados son denominados alimentos funcionales o nutracéuticos que han sido definidos como “cualquier alimento o ingrediente del mismo que proporcione un beneficio probado a la salud humana”. De la misma manera, existe también la preferencia a elegir productos que no requieran invertir mucho tiempo en su preparación, así mismo los alimentos bajos en calorías especialmente en azúcares y grasas. Lo que induce al desarrollo de productos que ayuden al cuidado de la salud, previniendo enfermedades, mejorando el funcionamiento del cuerpo, evitando el envejecimiento y sean más naturales.

3.- OBJETIVOS

3.1.- Objetivo general

Evaluar el efecto en la producción de harina de betabel al utilizar dos tipos de secado (horneado y deshidratado) en las propiedades nutrimentales de un pan con actividad antioxidante.

3.2- Objetivos específicos

- 1.- Obtener harina de *Beta vulgaris* utilizando un deshidratador (EXCALIBUR) en condiciones de convección a temperaturas menores a 60°C.
- 2.- Obtener harina de *Beta vulgaris* utilizando un horno de secado (SAN-SON, HORNO CONVECTION HCX PLUS3) utilizando temperaturas mayores a 80°C.
- 3.- Formular mezclas de harina de betabel con harina de trigo a diferentes concentraciones y elaborar el pan funcional
- 4.- Caracterizar los panes desarrollados física y nutrimentalmente para evaluar el efecto del tipo de secado.
- 5.- Determinar la funcionalidad de los panes desarrollados, midiendo actividad antioxidante.

4.- ANTECEDENTES

4.1.- *Beta vulgaris*

Las hortalizas son una fuente excelente de minerales y vitaminas, además la mayoría provee una reacción alcalina al organismo humano, acompañada de un alto contenido de celulosa, carbohidratos y proteínas de buena calidad. Como proveedora de vitaminas, las hortalizas son la fuente natural más importante, especialmente para vitaminas A y C, y ocupando también los primeros lugares como fuentes de vitaminas B1 y B2 (Willman Zamora, 2017).

El betabel, está considerado como una hortaliza, aunque también puede denominarse tallo engrosado bulboso, con un alto valor nutritivo con cantidades considerables de vitamina B, hierro, magnesio y potasio cuyo uso se reduce principalmente a jugos y ensaladas. El Betabel (*Beta vulgaris*) pertenece a la familia Chenopodiaceae, que ahora se incluye en la familia Amaranthaceae, su origen se remonta al segundo milenio A.C. en algún lugar cerca del Mediterráneo donde los griegos aprovechaban principalmente sus hojas como alimento, posteriormente su cultivo se extendió a Babilonia en el siglo 8 A.C. y al este de China por el 850 D.C. El Betabel pertenece a los tubérculos más comunes que se cultivan en México y su consumo puede ser tanto en crudo como en preparaciones de ensaladas y jugos frescos, fermentados o cocidos (Dirección, 2009).

El betabel es conocido por varios nombres, uno de ellos son: Betarraga, Betarata, Betereva y Remolacha. La remolacha o betabel (*Beta vulgaris L*) es un cultivo relativamente joven si se compara con maíz, trigo y otros, su cultivo se inició hace unos 3 mil años. Primero se cultivó por sus hojas, para consumo como hortaliza. Según testimonios históricos, ya se cultivaba como hortaliza en Babilonia hacia el año 800 a.C. Aristófanes menciona el uso de la raíz de la remolacha como alimento para animales en el año 425 a.C. La remolacha posiblemente se domesticó en el este del Mediterráneo, donde se encuentran muchas poblaciones de remolacha silvestre (*Beta marítima*). La utilización de las hojas y las raíces de las variedades silvestres probablemente dieron lugar a ciertas variedades de remolacha ahora cultivadas, como la acelga y la remolacha roja o betabel, que se consumen como verdura (Dirección, 2009).

4.1.2.- Características particulares

El betabel es una planta bianual ya que requiere de dos estaciones para la obtención de flores y semillas, para florecer requiere de un periodo de frío. El sistema de raíces es muy profundo y ramificado. El tallo floral puede alcanzar una altura de 1 a 1.30 m, presenta flores hermafroditas, con estambres y pistilos aparecen solas o en grupos (panícula) apretados de dos o tres. La flor está compuesta de cinco pétalos, que al madurar forman un pequeño fruto que contiene de dos a seis semillas muy pequeñas en forma de munición o de un fríjol pequeño, siendo por lo general de color café. Las hojas son de un color verde intenso y los peciolos son de color rojo o púrpura (Dirección, 2009).

4.1.3.- cultivo

El cultivo tiene como uso principal la producción de azúcar y debido a la creciente demanda por combustibles limpios, la remolacha azucarera es considerada como una alternativa viable para elaborar bioetanol. La producción mundial de azúcar (sacarosa) se estima en 158 millones de toneladas, siendo 30% las que provienen de la remolacha, la cual se siembra principalmente en países de Europa y Estados Unidos, y en menor escala en Canadá, Chile y Colombia. La remolacha azucarera es un cultivo potencial para la ganadería ya que puede reemplazar una porción del grano en la ración, se puede cultivar en rotación con cebada, trigo, frijol, maíz, canola y papa, incluso legumbres. Es importante mencionar que existen regiones áridas y semiáridas del mundo, donde se cultiva la remolacha azucarera, como Turquía y Egipto, incluso en suelos con problemas de salinidad. En México, la remolacha azucarera y forrajera no se cultivan en forma extensiva por otra parte, en el año 2015 se registró una producción de 17 mil toneladas de betabel como hortaliza de mesa, 75% de la producción se obtuvo del estado del Puebla, las principales variedades que se cultivan son las siguientes: Betabel rojo gigante y betabel rojo globo (rojo más profundo y de sabor más dulce, para forraje se tienen el betabel amarillo globo y amarillo ovalado (Evans y Messerschmidt, 2017).

4.1.4.- Clima

El betabel presenta un mejor crecimiento en climas fríos y templados. Yamaguchi (1983) reporta un rango de temperatura óptima de crecimiento 16-18°C mientras que Biggs et al. (1997) reportan un rango mayor que es de 15-19°C en el cual el betabel desarrolla mejor coloración y el contenido de azúcares más alto. Esta hortaliza puede tolerar heladas hasta por más de dos semanas, después de éste periodo presenta deterioro fisiológico. A temperaturas mayores a la óptima el almacenamiento de nutrientes en las raíces es reducida y como consecuencia resultan raíces de menor tamaño, con pérdida de coloración además de textura y sabor desagradables (Dirección, 2009)

4.1.5.- Suelo y fertilización

Para el mejor desarrollo del betabel se requiere que el suelo sea de tipo húmedo profundo arenoso, con alto contenido de materia orgánica, ya que ésta proporciona fertilizante natural y retiene la humedad mientras que suelos duros y arcillosos obstaculizan el desarrollo del betabel dando como resultado bulbos deformes. El crecimiento del betabel se lleva a cabo en suelos neutros o ligeramente alcalinos, presentando mejores características en el rango de pH de 6 a 8. En cuanto a fertilización, se recomiendan 120 kg de nitrógeno más 60 kg de pentóxido de fósforo por hectárea. Se sugiere fraccionar el nitrógeno en dos aplicaciones, pues a altas concentraciones disminuye la coloración del betabel y el contenido de azúcares (Dirección, 2009).

4.1.6.- Cosecha

Se utilizan dos indicadores de cosecha, uno que implica conocer el diámetro del “bulbo” (cuando presente un diámetro de entre 8 y 10 cm) y otro es el tiempo en días, 60-80 días para cultivares precoces, 80-100 días para intermedios y 100-110 días para tardíos.

La determinación del momento de recolección más oportuno depende también del estado fisiológico de la madurez del cultivo, además de los siguientes factores:

- Precio del producto: en el mercado puede justificar una cosecha prematura, aunque de esta manera no se obtiene el máximo rendimiento del cultivo.

- Condiciones climatológicas: cuando éstas gradualmente empeoran, puede ser conveniente adelantar la cosecha, al mejorar gradualmente ésta se puede retrasar.
- Bajos precios en el mercado: pueden justificar un retraso de la cosecha, así se obtiene mayor volumen, pero también una calidad inferior y una mayor cantidad de desperdicios.
- Tamaño: las hortalizas de tamaño cómodo tienen mejor aceptación, el tamaño no es sinónimo de mejor calidad.
- Uniformidad: Distintas calidades en una sola unidad de empaque deprecian el producto y dificultan la venta.
- Forma: Las hortalizas deben tener una forma típica. Las deformaciones son de inferior calidad. Formas fuera de lo normal encuentran problemas de aceptación.
- Aspectos físicos: Los daños mecánicos, magulladuras y heridas deprecian el producto. Esto influye en otros factores calificativos.
- Apariencia: Las hortalizas deben ser frescas, limpias y libre de humedad excesiva. Los residuos de pesticidas deben ser mínimos. El lavado con abundante agua potable es indispensable en caso de residuos.
- Sanidad: Las hortalizas afectadas por plagas o enfermedades son de poca aceptación y valor comercial, además no permiten almacenamiento y dificultan el procesamiento.

(Dirección, 2009).

4.1.7.- Pigmentos

El interés en el betabel ha surgido debido a que es una rica fuente de compuestos polifenólicos, predominando lo que son los pigmentos llamados betalaínas, que son derivados de ácido betalámico; betacianinas y betaxantinas y un número de compuestos fenólicos. Así mismo contiene pequeñas cantidades de otros compuestos, como lo son carotenoides y ácido ascórbico que pueden aumentar aún más su capacidad antioxidante total. El Betabel por naturaleza, presenta un color que va del rojo al púrpura intenso, coloración que se le atribuye a los pigmentos contenidos en este de forma natural en la raíz, dichos pigmentos (betalaínas) se encuentran distribuidos en dos grupos:

- a) betacianinas; que dan lugar a una pigmentación rojo-violeta
- b) betaxantinas; que tienen una coloración amarilla.

Ambos grupos de moléculas son ópticamente activas, las betalaínas del tipo betaxantinas presenta su máxima absorción entre 480 nm y 485 nm, mientras que las betalaínas del tipo betacianinas presentan su pico de máxima absorción en un intervalo de 534 nm y 554 nm. Las betalaínas, son pigmentos hidrosolubles que existen como sales en las vacuolas de las células vegetales, son similares a las antocianinas en apariencia visual. Anteriormente se les llamaba antocianinas nitrogenadas. Estos pigmentos se encuentran sólo en 10 familias: Aizoaceae, Amaranthaceae, Basellanaceae, Cactaceae, Chenopodaceae, Didiereaceae, Holophytaceae, Nyctaginaceae, Phytolaccaceae y Portulacaceae. Al igual que las antocianinas, se acumulan en las vacuolas celulares de las flores, frutas y hojas que las sintetizan, principalmente en la epidermis y la subepidermis.

La cantidad en promedio de las betalaínas presente en el betabel ha sido estimada entre 100mg/100g o bien 120mg/100g de sólidos totales en peso fresco. El principal componente se encuentra entre un 78 a un 90% del total de los pigmentos constituyentes de esta raíz, porcentaje correspondiente a la betacianina de tipo betanina, cuyas variaciones en el porcentaje dependerán directamente del tipo de cultivo y lugar donde se lleve a cabo. El color es uno de los factores más importantes que indican la calidad de los alimentos, debido a que este influye en la aceptación y preferencia del consumidor. Sin embargo existen diversos factores que afectan la pigmentación, ya que las frutas y hortalizas se encuentran susceptibles a daños mecánicos así como a la - 24 - degradación de pigmentos por diversos factores ambientales después de su recolección y almacenamiento. La estabilidad de las betalaínas está fuertemente influenciada por las enzimas presentes en su estructura y composición, pH, actividad de agua (aw), oxígeno, luz, metales, temperatura, ácido ascórbico y azúcares (Powrie and Industries, n.d.).

4.1.8- Propiedades funcionales

La remolacha o betabel (*Beta vulgaris L.*) se cultiva principalmente por su jugo y valor nutritivo. Sus raíces son de color rojo sangre con piel delgada. Contiene 7,96% de azúcar, 9,96% de carbohidratos, 1,68% de proteínas y 6 mg de vitamina C por 100 g de pulpa. Es una excelente fuente de calcio, magnesio, cobre, fósforo, sodio y hierro. Las raíces son las más populares para el consumo humano, tanto cocidas como crudas. A pesar de las cualidades medicinales y los beneficios de salud, pocas personas lo incluyen en su dieta diaria. El consumo de betabel en adultos sanos, con una dieta normal ha mostrado una tendencia a disminuir la presión arterial sistólica, siendo mayor el efecto en hombres. Las remolachas son ricas en compuestos activos como los carotenoides, glicina, betaína, saponinas, betacianinas, folatos, betanina, polifenoles y flavonoides. Por lo tanto, la ingesta de remolacha puede considerarse un factor en la prevención del cáncer. Tiene efectos antimicrobianos, antivirales y puede inhibir la proliferación de células tumorales humanas.

Numerosos estudios clínicos señalan la importancia del consumo de alimentos que ayuden a prevenir enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como las cardiovasculares, el cáncer, la obesidad o la diabetes así como el déficit de micronutrientes.

En este contexto es de destacar la importancia de los alimentos altos en carbohidratos (CHO), cuya ingesta sería beneficioso aumentar en las dietas de las poblaciones, según las recomendaciones actuales. Las metas nutricionales de macronutrientes se dirigen no sólo a disminuir los riesgos de desnutrición, sino también los riesgos de desarrollo de ECNT relacionadas con la alimentación. Por ejemplo, se sugiere moderar el consumo de grasa a un valor máximo de 30% de las calorías, mantener constantes las proteínas y consecuentemente aumentar las calorías derivadas de CHO. La reunión de expertos FAO/OMS sobre CHO en la nutrición humana acordó que su consumo mínimo debe ser de un 55 % de las calorías totales, aporte calórico que debe corresponder principalmente a CHO complejos disponibles con bajo índice glicémico. Esta recomendación enfatiza el consumo de alimentos que cumplan con esta condición y se distancian del marco conceptual que consideraba a todos los CHO complejos como poseedores de propiedades fisiológicas similares (Coles y Clifton, 2012).

4.2.- Formas de agua

El agua es esencial para las reacciones químicas y bioquímicas, así como para la actividad microbiana en alimentos. Los microorganismos necesitan abundante agua libre para su supervivencia y multiplicación. Sin humedad biológicamente activa, los agentes de deterioro estarían completamente inactivos. Es presente en cantidades variables y formas diferentes prácticamente en todos los alimentos. Las frutas y verduras frescas que tienen un alto contenido de humedad se echan a perder con facilidad. Frijoles secos y cereales contienen relativamente menos humedad y se almacenan de forma segura durante un período prolongado a temperatura ambiente sin reducción de la calidad. El agua existe en los alimentos en cinco formas diferentes:

- (i) agua libre (por ejemplo, en jugo de tomate);
- (ii) gotas de agua emulsionada (por ejemplo, en mantequilla);
- (iii) agua ligada a geles coloidales (por ejemplo, en gelatinas);
- (iv) capa fina de agua adsorbida (por ejemplo, en leche en polvo);
- (v) agua de hidratación unida químicamente (por ejemplo, en azúcar).

La humedad puede eliminarse de los alimentos mediante secado al sol y deshidratación, evaporación /técnicas de concentración, liofilización y deshidrocongelación. El agua químicamente unida es extremadamente difícil de eliminar durante el secado, mientras que el agua libre y adsorbida es fácil de eliminar en secado y deshidratación. La mayor parte de la humedad libre y absorbida se elimina mediante medios adecuados. De esta manera, el agua restante deja de estar disponible para químicos y reacciones bioquímicas, así como actividades de microorganismos (ur-Rehman and Awan, 2012).

4.3.- Tipos de secado

Las frutas y verduras se han secado desde tiempos prehistóricos. El secado se ha practicado utilizándola energía y el aire del sol. Con el desarrollo de equipos de deshidratación a principios del Siglo XIX, se trasladó a las fábricas. Se utilizan los términos secado y

deshidratación, sinónimo de la eliminación de la humedad de los alimentos. Sin embargo, el secado suele estar restringido al proceso en condiciones naturales utilizando energía solar. Es especialmente útil en regiones tropicales donde el sol brilla durante la mayor parte del año. La deshidratación es el término utilizado para el proceso de eliminación de agua bajo condiciones de control de temperatura, humedad relativa y flujo de aire.

Hay tres tipos fundamentales de procesos de secado:

- (i) secado al sol / secado al sol;
- (ii) secado atmosférico controlado por lotes con deshidratadores de torre, gabinete y horno y secado continuo con cinta, canal de cinta, túnel, lecho fluidizado, esterilla de espuma, spray, deshidratadores explosivos, de microondas y de tambor;
- (iii) secado subatmosférico, como deshidratadores por congelación de estantes / cintas al vacío.

(ur-Rehman and Awan, 2012).

4.3.1.- Secado al sol / secado solar de frutas y verduras

El secado al sol se refiere a la eliminación de la humedad de los alimentos al exponerlos a la energía directa de los rayos del sol. Muchos granos alimenticios, como los cereales y las legumbres, se secan naturalmente en el campo por energía solar y están protegidos de la autólisis y el ataque microbiano. Su humedad, el contenido suele variar del 8 al 16% y la actividad del agua es normalmente 0,75 o menos. Además a estos alimentos conservados naturalmente, otros productos perecederos se secan al sol con el fin de extender su vida útil. En regiones tropicales y subtropicales con abundante sol, varias frutas y verduras se secan al sol. Estos son secados con mayor frecuencia por los agricultores en las granjas y en la producción área donde hay excedentes de producción y a menudo es difícil transportar productos frescos al mercado. Este método es aplicable a nivel comercial o a nivel de aldea sujeto a una fuerte y clima seco sin lluvias durante y después del período de cosecha. El cultivo debe ser fresco y de buena calidad. No se deben mezclar varios lotes de diferentes etapas de madurez juntos; esto daría como resultado un producto seco deficiente. Partes

afectadas por insectos, roedores y enfermedades y las partes descoloridas o con mal aspecto deben eliminarse antes del secado (ur-Rehman and Awan, 2012).

4.3.2.- Secado a la sombra

El secado a la sombra se aplica en aquellas hortalizas para las que existe un problema de natural pérdida de color u oscurecimiento bajo la luz solar directa. Hierbas, hojas de cilantro, dulce verde y rojo pimientos, chiles, judías verdes, quingombó y fenogreco tienen un color atractivo y, por lo tanto, se secan a la sombra. Los principios del secado a la sombra son similares a los del secado al sol. El secado a la sombra se realiza en un cobertizo que tiene los lados abiertos. Se requiere circulación de aire para secado eficiente. El secado a la sombra lleva un poco más de tiempo del que normalmente se requiere para secar bajo el sol (ur-Rehman and Awan, 2012).

4.3.3.- Secado osmótico

En este proceso, las frutas y verduras preparadas se sumergen en un almíbar fuerte y salmuera respectivamente, y luego se secan al sol. Durante la inmersión, el material pierde parte de su humedad. La sal / jarabe sirve como una capa protectora en la superficie de las rodajas. El efecto sobre el color, el sabor y la textura permanece durante el proceso de secado y da como resultado un producto de alta calidad (ur-Rehman and Awan, 2012).

4.3.4.- Deshidratación

La deshidratación es una operación en la que el contenido de humedad de los alimentos se reduce sustancialmente en condiciones controladas de temperatura, humedad relativa y flujo de aire en una cámara. En estas condiciones se obtienen productos de alta calidad que conservan su carácter natural y características tras la reconstitución. Los alimentos que se conservan con éxito por deshidratación incluyen frutas, verduras, leche, huevos, pescado, mezclas para pasteles, mezclas para sopas y otros. El material crudo determina las técnicas de manipulación y el tipo de equipo necesario. Se pueden hacer ahorros en costos de envío

por peso reducido, pero no en términos de tamaño del contenedor. Además, a veces los gastos de envío no se basan en el peso sino en el volumen. Otra razón de la deshidratación es la producción de alimentos precocinados. Un buen ejemplo es el puré de papa instantáneo. En este caso los pasos de cocción se completan antes de que se seque el producto (ur-Rehman and Awan, 2012).

4.4.- Efecto de la deshidratación sobre el valor nutritivo de frutas y verduras

Debido a la pérdida de humedad durante el secado de frutas y verduras frescas, la concentración de nutrientes mejora. La cantidad de nutrientes como proteínas, grasas y carbohidratos, es mayor en alimentos secos que en alimentos frescos por unidad de peso, sin embargo, la calidad de alimentos secos no es comparable a los alimentos frescos en términos de pérdida de vitaminas. Las vitaminas solubles en agua se oxidan. También disminuyen durante el blanqueamiento, que provoca la inactivación de la enzima. El ácido ascórbico y el caroteno se destruyen por oxidación. Riboflavina está dañada por la luz. La tiamina es sensible al calor y también se destruye con el azufre. Más se pierde una cantidad apreciable de ácido ascórbico en las frutas secadas al sol que cuando se liofilizan. El contenido de caroteno de verduras se reduce en un 80% si el procesamiento se realiza sin escaldar. El secado rápido retiene más ácido ascórbico que el secado lento. Las mayores pérdidas de carbohidratos se producen en las frutas. La decoloración puede deberse a la acción de enzimas o reacciones de tipo caramelización (ur-Rehman and Awan, 2012).

4.5.- Efectos del secado en microorganismos

Los microorganismos necesitan humedad para sus actividades metabólicas y su multiplicación, mientras que las levaduras y las bacterias requieren una mayor cantidad de humedad, por lo general más del 30%, los mohos necesitan mucho menos, 12% de humedad o incluso menos. Algunos pueden crecer en sustratos de alimentos incluso con menos del 5% de humedad. Las frutas se secan entre un 16 y un 25% de humedad. Hay posibilidades de crecimiento de moho si estos se exponen al aire y se almacenan en

condiciones de alta humedad. Por encima del 2% de humedad y en condiciones favorables, se espera el crecimiento de moho. El control más efectivo es el uso de vegetales de alta calidad con baja contaminación, blanqueado antes del secado, procesamiento en un ambiente higiénico y almacenamiento en condiciones donde los alimentos secos están protegidos de la invasión de microbios, insectos, roedores y otros animales (ur-Rehman and Awan, 2012).

4.6.- Harinas funcionales

Las propiedades funcionales de las harinas simples y compuestas determinan la aplicación de alimentos y el uso final de dichos materiales para otras aplicaciones. Estas propiedades son importantes para determinar los requisitos de empaque, el manejo de materias primas y la aplicación en el procesamiento en húmedo en la industria alimentaria. La mezcla de las diferentes harinas es una de las propiedades más importantes que influyen en la calidad y la consideración estética de los alimentos, ya que afecta la textura, la digestibilidad y el uso final de los productos alimenticios a base de almidón. Las harinas derivadas de granos y productos como el trigo, se utilizan también en la elaboración de tortas, pasteles, galletas y fideos orientales. El análisis granulométrico y propiedades físicas y funcionales en las harinas son primordiales para la industria de las pastas alimenticias, ya que facilita la estandarización y proceso de productos, identificar los requisitos de la materia prima y los parámetros legales respecto al tamaño de las partículas. El mayor componente orgánico de las harinas vegetales son los almidones y los índices de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento se pueden utilizar como un indicativo del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos. Mayores índices de solubilidad, absorción de agua y poder de hinchamiento en las harinas vegetales, indican una mayor facilidad para formar geles en presencia de calor y exceso de agua. Las propiedades físicas y funcionales de las harinas pueden predecir el comportamiento del producto en la formación de pastas alimenticias, inducido por los efectos termomecánicos durante la extrusión (Mastromatteo et al., 2012)

4.7.- Propiedades nutricionales del pan

El pan es un producto de consumo habitual en todo el mundo y contribuye en muchos países entre el 45 al 60% de la energía de la dieta, fundamentalmente debido a su contenido en carbohidratos; concretamente almidón. A pesar de ello, por su composición, en ocasiones el pan ha sido tachado de producto de escaso valor nutricional. En los últimos años diversas investigaciones han buscado mejorar el valor comercial y nutritivo del pan de trigo con ingredientes funcionales, para lo cual se están utilizando cereales en grano, harinas integrales, la adición de mezclas de diferentes semillas, frutos secos y/o de productos con un elevado aporte de fibra dietética. Dado el habitual bajo consumo de fibra en sociedades desarrolladas, que se asocia con enfermedades coronarias, aterosclerosis y cáncer de colon, existe una gran preocupación por incrementar la cantidad de fibra en la dieta para prevenir dichas enfermedades.

Por otra parte, los carbohidratos presentes en el pan de trigo blanco son fácilmente digeribles, lo cual produce una rápida y alta respuesta glicémica e insulinémica, además aportan un elevado contenido energético y relativamente baja sensación de saciedad. La velocidad de digestión de los carbohidratos afecta a la absorción de la glucosa y ello conlleva que sean necesarios poner en marcha con rapidez y eficacia los mecanismos metabólicos reguladores de la glicemia postprandial y la respuesta lipémica. En cambio la presencia de otros componentes de los alimentos puede jugar un papel importante en la modulación de la glucosa en sangre, fundamentalmente debido a una digestión y absorción más lenta de los glúcidos, que ayuda a mantener los niveles normales de glucosa en sangre. Este factor se ha identificado como relevante en la prevención de algunas enfermedades crónicas. Por lo tanto, la incorporación de ingredientes funcionales, por ejemplo con una mayor cantidad de fibra, es una estrategia interesante para mejorar la respuesta glicémica ocasionada por el consumo de pan, lo cual cobra una especial relevancia en el diseño de dietas para diabéticos destinadas a mejorar el control metabólico de la glicemia. Estudios epidemiológicos, confirman que el consumo habitual de alimentos ricos en cereales y pseudocereales ayudan a prevenir enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2, problemas cardiovasculares y la obesidad (Zuleta et al., 2012)

4.8.- Panes funcionales

Numerosos estudios clínicos señalan la importancia del consumo de alimentos que ayuden a prevenir enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) como las cardiovasculares, el cáncer, la obesidad o la diabetes así como el déficit de micronutrientes.

En este contexto es de destacar la importancia de los alimentos altos en carbohidratos (CHO), cuya ingesta sería beneficioso aumentar en las dietas de las poblaciones, según las recomendaciones actuales. Las metas nutricionales de macronutrientes se dirigen no sólo a disminuir los riesgos de desnutrición, sino también los riesgos de desarrollo de ECNT relacionadas con la alimentación. Por ejemplo, se sugiere moderar el consumo de grasa a un valor máximo de 30% de las calorías, mantener constantes las proteínas y consecuentemente aumentar las calorías derivadas de CHO. La reunión de expertos FAO/OMS sobre CHO en la nutrición humana acordó que su consumo mínimo debe ser de un 55 % de las calorías totales, aporte calórico que debe corresponder principalmente a CHO complejos disponibles con bajo índice glicémico. Esta recomendación enfatiza el consumo de alimentos que cumplan con esta condición y se distancian del marco conceptual que consideraba a todos los CHO complejos como poseedores de propiedades fisiológicas similares. En consecuencia, los alimentos altos en almidones adquieren una relevancia especial, ya que contribuyen a cumplir las metas nutricionales, junto a otras recomendaciones más específicas, como son disminuir el consumo de azúcares simples y aumentar el de fibra dietética.

Los alimentos funcionales son aquéllos que proporcionan un efecto beneficioso para la salud más allá de su función básica nutricional. Resultan de la adición, sustitución o eliminación de ciertos componentes de los alimentos con la finalidad de reducir el riesgo de padecer enfermedades. De allí el interés en la búsqueda de nuevas fuentes como ingredientes en el desarrollo de alimentos que aporten estas características.

Los panes funcionales representan una alternativa interesante, por encontrarse el pan entre los alimentos más consumidos en muchos países. En Latinoamérica, Chile es el país de mayor consumo de pan, con valores de alrededor de 98 kg/hab/año. En Argentina, los valores son cercanos a los 72 kg/hab/año (Zuleta et al., 2012).

4.9.- Compuesto fenólicos totales

El término compuestos fenólicos totales engloba a todas aquellas sustancias que poseen varias funciones fenol, unidos a estructuras aromáticas o alifáticas. Se trata de un amplio grupo de compuestos producto del metabolismo secundario de las plantas, que usan como protección o pigmentación. Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad de los alimentos, ya que actúan como colorantes y antioxidantes. Los compuestos fenólicos totales pueden actuar como antioxidantes mediante dos mecanismos principales:

a) Como captadores de radicales libres: actúan como donantes de hidrógeno o electrones en reacciones de terminación que rompen el ciclo de generación de nuevos radicales libres, deteniendo las reacciones en cadena en las que están implicados los radicales libres, el radical fenoxilo generado es menos reactivo dado que se estabiliza por resonancia con los electrones “p” del anillo aromático.

b) Como quelantes de metales: requiere la presencia de grupos hidroxilos cercanos en el anillo aromático, de este modo, los o-dihidroxifenoles son secuestradores efectivos de iones metálicos e inhiben la generación de radicales libres al formar complejos con metales di o trivalentes, especialmente con el hierro y el aluminio. Sin embargo, existen otros factores que afectan la actividad antioxidante de los compuestos fenólicos totales, como el número y posición de grupos hidroxilo, la presencia de azúcares unidos a ellos y el grado de polimerización (Sakee, 2014)

4.10.- Actividad antioxidante

La capacidad antioxidante del betabel se encuentra asociada a la presencia de betalainas. Las betalainas pueden encontrarse en una variedad de especies y tejidos, pero el betabel y los frutos de cactus pertenecientes al género *Opuntia*, son las mayores fuentes alimenticias de estos compuestos. Éstas exhiben una actividad antioxidante y una capacidad de captación de radicales libres alta si se incorporan a la dieta, éstas pueden proteger a las células de la acción de los radicales libres y evitar la hemólisis oxidativa en los glóbulos

rojos, encontraron que las betalainas tienen la capacidad de inducir a la enzima quinona reductasa, la cual es considerada la principal enzima protectora contra diversos tipos de cáncer. Los antioxidantes son sustancias que actúan protegiendo al organismo de la acción de los radicales libres, causantes de los procesos de envejecimiento y de algunas enfermedades degenerativas. Los radicales libres son moléculas, con átomos que tienen un electrón en capacidad de aparearse, por lo que son muy reactivos. Estos radicales recorren el organismo intentando captar un electrón de las moléculas estables, con el fin de lograr su estabilidad electroquímica y con potenciales reacciones en cadenas destructoras de las células del cuerpo. Los radicales libres pueden dañar biomoléculas tales como lípidos, ácidos nucleicos y proteínas, causando peroxidación en las membranas celulares (Sakee, 2014).

4.11.- Propiedades antioxidantes del betabel

El jugo del betabel contiene un alto nivel biológico accesible de antioxidantes. Sin embargo, su consumo no es tan popular como el de otros vegetales como el jitomate, la zanahoria, la manzana o el mango, tal vez por los problemas de percepción de sabor y textura, además de que genera coloración en la orina. El betabel posee pigmentos que pertenecen al grupo de los antioxidantes. Las principales fuentes vegetales de betalainas son las raíces de *Beta vulgaris*, el tallo de *Amaranthus* y los frutos de las especies del género *Opuntia*. Los pigmentos más abundantes en el betabel son las betalainas, que son químicamente definidas como derivados del ácido betalámico. La capacidad antioxidante del jugo del betabel está fuertemente relacionado con la cantidad de pigmentos rojos y amarillos, que conforman a las betalainas, así como del alto contenido de compuestos fenólicos totales (Sakee, 2014).

4.12.- Antioxidantes y el betabel

Un antioxidante es una molécula que previene la formación descontrolada de radicales libres o inhiben sus reacciones con estructuras celulares (proteínas, carbohidratos, lípidos y ADN). Como parte del envejecimiento normal del organismo humano se producen un

número considerable de sustancias químicamente inestables, llamadas especies reactivas de oxígeno que en su mayoría son radicales libres. El daño oxidativo que estas especies pueden producir en las células es de consecuencias críticas para su función, por lo que se le asocia con el desarrollo de numerosas patologías y enfermedades degenerativas como el cáncer y la diabetes. Además de las defensas endógenas del organismo contra el daño oxidativo (enzimas y coenzimas superóxido dimutasas, gatalasa, peroxidasas GSH y el ácido úrico), la ingesta de moléculas antioxidantes puede neutralizar la producción y exposición a los radicales libres y disminuir los efectos adversos de las especies reactivas del oxígeno en el cuerpo humano. Los antioxidantes de origen exógeno pueden ser de naturaleza diversa, como la vitamina C, la vitamina E, carotenoides, flavonoides, principalmente. Estos difieren unos de otros tanto en su mecanismo como en su sitio de acción. Existe evidencia científica de que los compuestos antioxidantes de frutas y vegetales pueden prevenir el daño oxidativo en las células, con lo que se reduce el riesgo de cáncer, enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas y diabetes, entre otras. Es así como, el interés específico del betabel ha surgido debido a que éste posee compuestos con actividad antioxidante, y es uno de los 10 vegetales con mayor capacidad antioxidante, debido a su alto contenido de betalainas (Sakee, 2014).

5.- MATERIALES Y MÉTODOS

5.1.- Materias primas

La harina de trigo duro, leche entera, levadura, aguamiel, sal, aceite y agua para la elaboración del pan funcional se compraron en un súper mercado, mientras que el betabel se compró en una central de bastos para posteriormente procesarlo y obtener la harina.

5.2.- Obtención de harina de betabel (*Beta Vulgaris*)

5.2.2.- Secado mediante deshidratador

Se pesó la cantidad de betabel a procesar, se acondicionó el betabel, se retiró la cascara y se cortó en hojuelas para un secado proporcional y se colocó en charolas para posteriormente realizar el secado en un deshidratador de bandejas marca EXCALIBUR a temperatura de 80°C durante aproximadamente 16 horas.

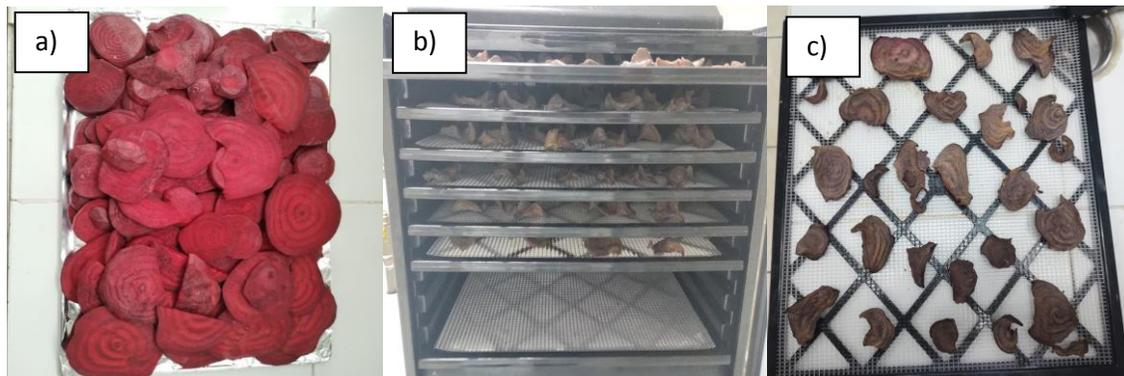


FIGURA 1. a) Betabel cortado para deshidratación, b) Betabel en horno, c) Betabel deshidratado.

5.2.1.- Secado mediante horno

Se pesó la cantidad de betabel a procesar, se acondicionó el betabel, se retiró la cascara y se cortó en hojuelas para un secado proporcional y se colocó en charolas de aluminio para posteriormente colocarlas en un horno de secado marca SAN-SON, HORNO CONVECTION HCX PLUS3, con temperatura de 100°C durante aproximadamente 24 horas.

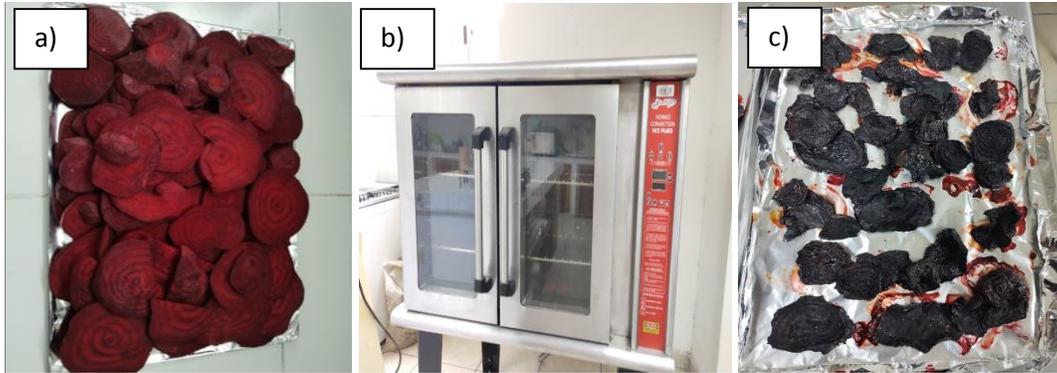


FIGURA 2. a) Betabel cortado en rodajas, b) secado betabel en horno, c) Rodajas de betabel seco.

5.2.3.- Molienda

Se realizaron las moliendas de las hojuelas secas de betabel en un molino eléctrico marca (High-speed Multifunction GRINDER), la molienda se realizó durante 40 segundos a 28000rpm.

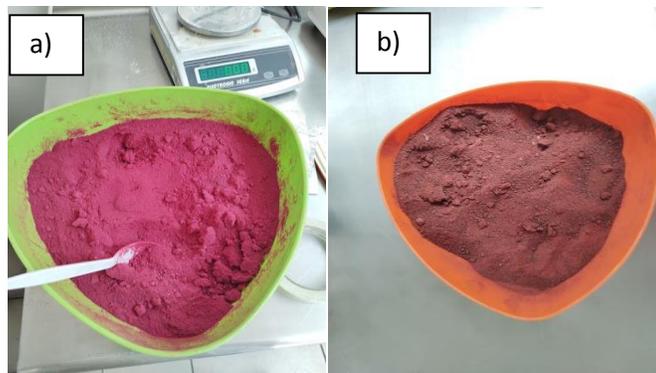


FIGURA 3. a) Harina de betabel deshidratado, b) Harina de betabel horneado.

5.3.- Formulación

Para la formulación del pan funcional se utilizó la harina de betabel en 5 diferentes concentraciones: 0%, 5%, 10%, 15% y 20% para preparar 160g de masa de cada concentración de harina, el resto fue harina comercial de trigo, además de los ingredientes

también utilizados: 75ml de leche entera, 4g de levadura, 10ml de aguamiel, 2g de sal, 12ml de aceite y 23ml de agua purificada.

5.4.- Panificación

Se realizaron 4 panes a diferente concentración de harina de betabel secado en deshidratador (5%, 10%, 15% y 20%) y 4 a diferente concentración de harina de betabel secado en horno. También se elaboró un pan control solo con harina de trigo.

Para preparar 160 gr de pan, se calentaron 75 mL de leche entera con 10 mL de aguamiel y se mezcló con 4 gr de levadura, después en un recipiente se añadieron 152 gr de harina de trigo con 8 gr de harina de betabel (concentración del 5%), se añadió la leche entera junto con el aguamiel y la levadura previamente calentada, se agregó 2 gr de sal, 12 mL de aceite vegetal y 23 mL de agua purificada, se mezcló y se amasó hasta obtener una consistencia adecuada. Se dejó reposar durante 1 hora a temperatura ambiente (25°C) para que actúe la levadura, una vez transcurrido el tiempo de reposo, la masa se pesó en tres partes iguales y se colocó en los moldes. Se dejó reposar nuevamente durante 30 minutos y posteriormente se horneó durante 22 minutos, a una temperatura de 150°C. Se utilizó un horno marca SAN-SON, HORNO CONVECTION HCX PLUS.



FIGURA 4. a) Mezcla de harina e ingredientes, b) Masa para pan horneándose.

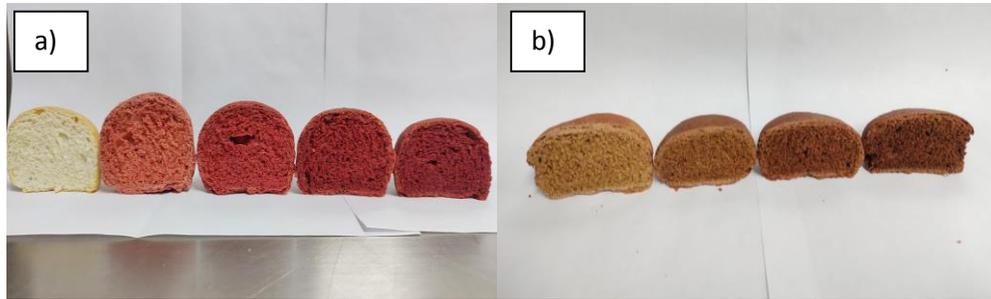


FIGURA 5. a) Pan de harina de betabel deshidratado, b) Pan de harina de betabel horneado.

5.5.- Evaluación de dimensiones del pan

Se tomó medidas del ancho y alto del pan, para comparar si el tamaño del pan se ve afectado por la adición de harina de betabel en diferente concentración. Las medidas se tomaron con un calibrador vernier.

5.6.- Evaluación del color

La determinación de color se realizó utilizando un colorímetro modelo NR-110, siguiendo las instrucciones del manual del equipo en muestras de pan molido.



FIGURA 6. Evaluación del color en pan molido.

5.7.- Determinación de polifenoles

5.7.1.- Preparación de los extractos

Las muestras de pan de betabel con harina deshidratada y secada en horno fueron sometidos a molienda utilizando un molino marca (High-speed Multifunction GRINDER). Los extractos de las muestras de pan betabel se obtuvieron mediante una extracción con etanol. En un tubo de ensayo se colocó 1 g de pan de betabel molido, a continuación se añadió etanol dejándose en agitación en centrifuga por 10 minutos en ausencia de luz, el extracto fue utilizado para la determinación del contenido total de polifenoles y la capacidad antioxidante

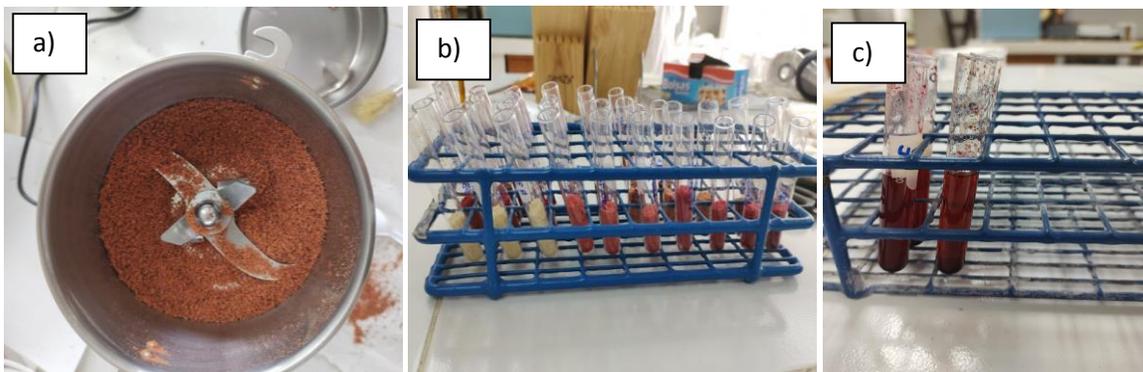


FIGURA 7. a) Molienda del pan, b) Preparación de extractos, c) Extractos centrifugados.

5.8.- Cuantificación de contenido de polifenoles totales (CPT)

El CPT fue determinado empleando el método de Folin-Ciocalteu empleando la técnica de Heimler et al. (2005). Se utilizó una curva estándar de ácido gálico a distintas concentraciones (0, 25, 50, 75, 100, 125, 150 ppm).

Se prepararon los tubos limpios y secos, a cada tubo se le se agregó 50 μ L de extracto, se agregó 3 mL de agua destilada y 250 μ L de reactivo Folin-Ciocalteu. Se esperó durante 8 minutos en la oscuridad y posteriormente se adicionó a cada tubo 250 μ L de bicarbonato de sodio y 950 μ L de agua destilada. Se dejó reposar por 40 min en la oscuridad a temperatura ambiente. Se midió la absorbancia a 750 nm empleando un espectrofotómetro.

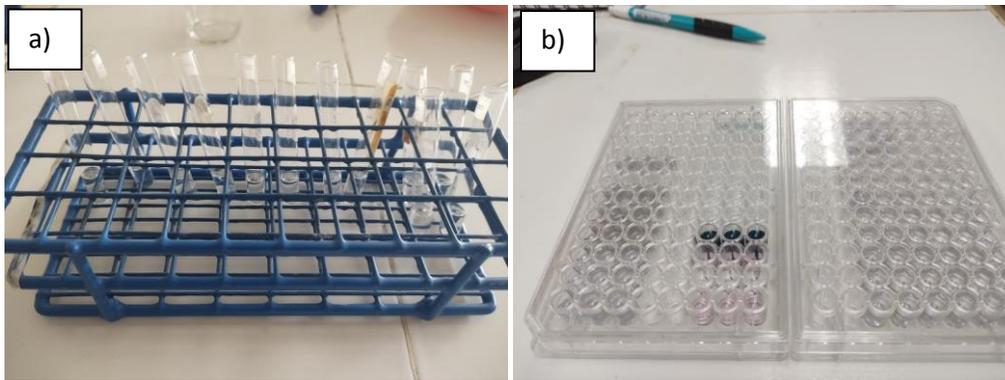


FIGURA 8. a) curva de ácido gálico, b) muestras en placa para lectura en espectrofotómetro.

5.9.- Determinación de capacidad antioxidante (ABTS)

Se prepararon los reactivos, la solución de ABTS y el persulfato de potasio, se mezclaron en concentración 1:1 y se dejó reaccionar de 12 - 18 horas antes de hacer la prueba. Pasando el tiempo de reacción, el reactivo ABTS se diluyó con agua hasta alcanzar una absorbancia de 700 ± 0.02 a 734 nm. En una microplaca depositar 10 μL de extracto y luego 200 μL de ABTS preparado, se esperó 20 minutos y se leyó aislado de la luz en el espectrofotómetro a 750 nm.

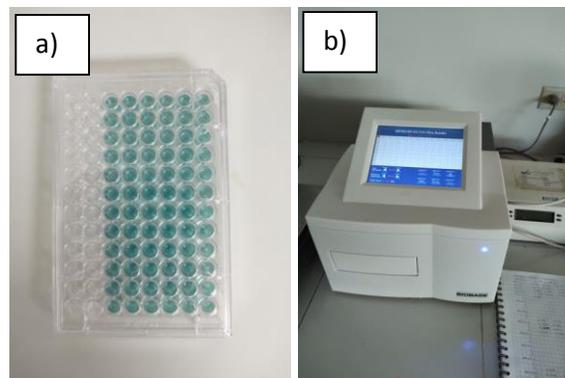


FIGURA 9. a) Microplaca con muestras, b) Lectura de muestras en espectrofotómetro.

5.10.- Determinación de capacidad antioxidante (DPPH)

El ensayo de DPPH se realizó según lo descrito por Clarke et al. (2013). La solución madre se preparó disolviendo 3.9 mg de DPPH en 100 mL de etanol. Se diluyó en metanol hasta obtener un absorbancia de $0.700 \pm$ a 520 nm. Luego de que se obtuvo la absorbancia requerida se procedió a realizar la curva patrón con trolox a diferentes concentraciones (500, 400, 300, 200, 100, 50, 25, 5, 0 mg/L), se tomaron 30 μ L de trolox, 270 μ L de reactivo DPPH y se depositaron en microplaca, se dejó reaccionar durante 30 minutos y se leyó a 520 nm. Para las muestras se realizó el mismo procedimiento, se tomaron 30 μ L de muestra, 270 μ L de reactivo DPPH y se depositaron en un pocito de la microplaca por triplicado, se dejó reaccionar durante 30 minutos y se leyó a 520 nm. Todo el procedimiento se realizó en ausencia de la luz.

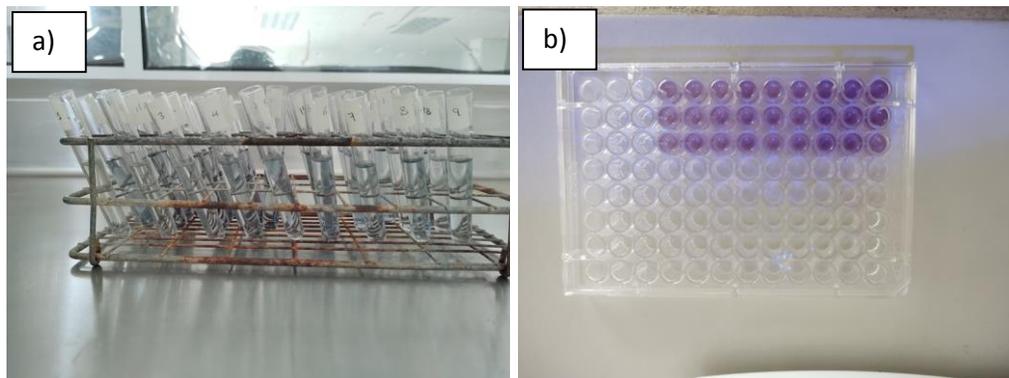


FIGURA 10. a) Reactivo trolox para curva patrón, b) Muestras en microplaca para lectura en espectrofotómetro.

5.11.-Composición química

5.11.1- Humedad.

Método AOAC 925.09b: Se determinó por desecación a 100°C, hasta peso constante.

Se pesó 2 gr de cada muestra de pan y harina de betabel en charolas de aluminio, se llevaron a secado a peso constante en estufa a 100°C durante 12 horas, y se pesaron para posteriormente determinar resultados.

Los resultados se determinaron mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{PMH} - \text{PMS}}{m} \times 100$$

Donde:

PMH: Peso de la muestra húmedo

PMS: Peso de la muestra seco

W: Peso de la muestra en gramos



FIGURA 11. Muestras para determinación de humedad.

5.11.2.- Cenizas.

Método por calcinación a 600°C, hasta la obtención de cenizas blancas.

Se puso a peso constante los crisoles, luego se retiraron de la estufa y se dejaron enfriar los crisoles durante 15 minutos en el desecador, se pesaron y anotaron los pesos exactos de cada crisol. Se pesó 1 gramo de muestra en cada crisol y se procedió a pre incinerar en una parrilla eléctrica hasta que dejó salir humo de los crisoles con muestra, luego se llevaron a la mufla durante 2 horas a 600°C, se dejó enfriar durante aproximadamente 2 horas, se pasaron al desecador durante 20 minutos y se procedió a pesar y anotar el peso exacto para hacer los cálculos y determinar resultados.

Los cálculos se determinaron mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{\text{PCC} - \text{PCP}}{W} \times 100$$

Donde:

PCC= Peso del crisol

PCP= Peso del crisol a peso constante

W: Peso de la muestra en gramos

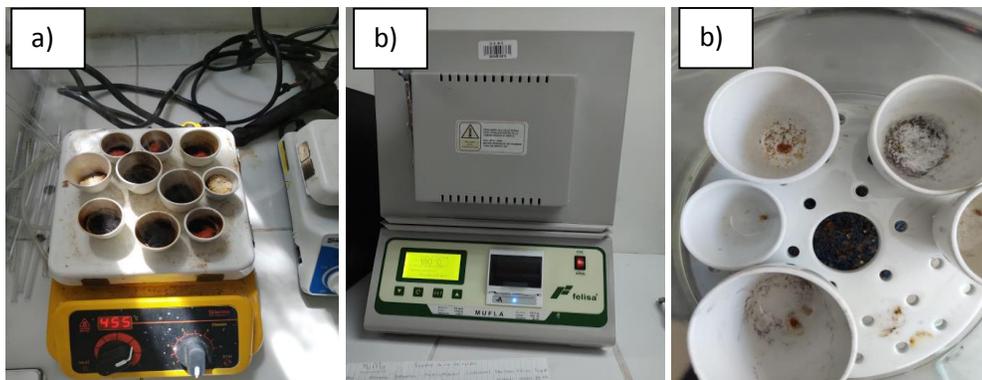


FIGURA 12. a) Pre incinerado de muestras, b) Incineración en mufla c) Resultado de cenizas en desecador.

5.11.3.- Grasas

La extracción consiste en someter la muestra exenta de humedad a un proceso de extracción continua en un equipo Soxhlet. Es una extracción continua con disolvente (hexano) donde una cantidad de disolvente rodea la muestra y se calienta en ebullición, una vez dentro del Soxhlet, el líquido condensado llega a cierto nivel y es sifonado de regreso al matraz de ebullición. La grasa se mide por pérdida de peso de la muestra o por cantidad removida.

Se puso en estufa a peso constante el matraz bola de fondo plano, se sacó de la estufa, se enfrió durante 20 minutos en el desecador y se procedió a pesar y anotar el peso exacto. Se pesó 5 gramos de muestra en papel filtro formando un cartucho de manera que no se pierda muestra y se depositó en el fondo del sifón, se conectó el matraz bola con hexano y se cerró

la parte de arriba con el refrigerante. Se realizó el proceso de desgrasado durante un lapso de 4 – 5 horas en una parrilla eléctrica a una velocidad de condensación de 2 a 3 gotas por segundo. Se llevó a peso constante el matraz con el extracto de grasa obtenido a una temperatura de 50 -60°C, se enfrió en el desecador, se pesó y anotó el peso exacto para hacer los cálculos y obtener resultados.

Los cálculos se determinaron mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Grasa} = \frac{A - B}{m} \times 100$$

A= Matraz a peso constante (g)

B= Matraz con extracto (g)

M= Peso de la muestra

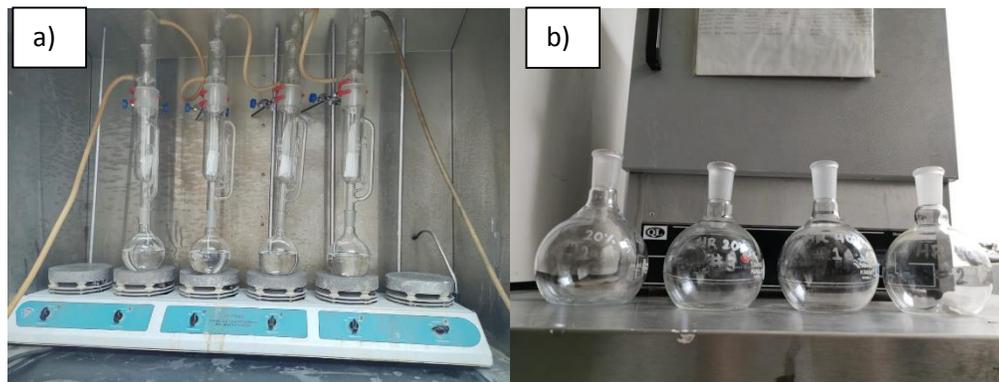


FIGURA 13. a) Obtención de grasas por soxhlet, b) Muestras de grasa a peso constante.

5.11.4.- Proteínas

Método AOAC 960.52: Método de Kjeldahl, tratamiento con ácido sulfúrico concentrado.

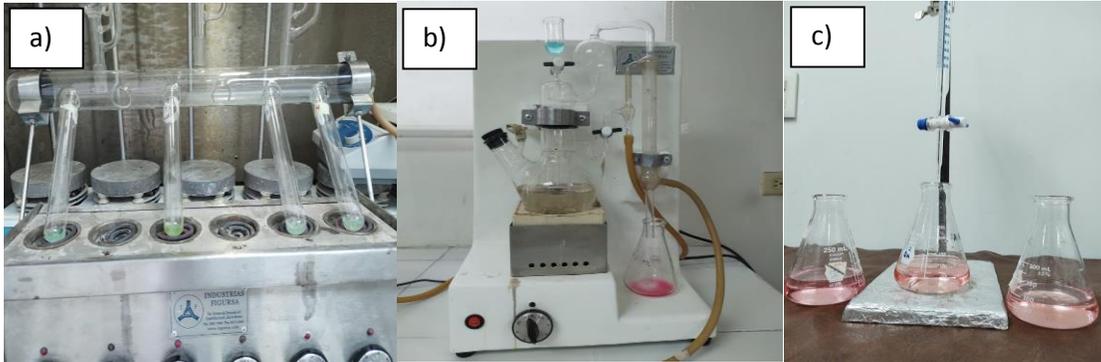


FIGURA 14. a) Digestión de muestras, b) Destilación por micro kjeldhal, c) Titulación con HCL

5.11.5.- Fibra cruda total.

Este método se basa en la digestión ácida y alcalina de la muestra, obteniéndose un residuo de fibra cruda y sales que con calcinación posterior se determina la fibra cruda.

Se pesó 2 gramos de muestra desengrasada, se colocó la muestra en un vaso Berzelius y se agregó 100 mL de ácido sulfúrico 0.225 N. Se conectó al aparato de reflujo por 30 minutos (se contó en tiempo a partir de que empezó a hervir), se secó y filtró el residuo resultante a través de tela de lino y lavó con tres porciones de agua destilada caliente. Se pasó nuevamente el residuo de fibra al vaso Berzelius con 100 mL de solución de hidróxido de sodio 0.313 N y conectó al aparato de reflujo por 30 minutos, transcurrido el tiempo, se secó y filtró a través de la tela de lino y se lavó con tres porciones de agua destilada caliente, se escurrió el exceso de agua presionando la tela y se retiró la fibra con una espátula depositándola en un crisol, se puso a peso constante en estufa a 90°C durante 12 horas, se sacó de la estufa, se enfrió en desecador y se pesó. Después se pasó a la mufla para calcinar durante 2 horas, transcurrido el tiempo se apagó la mufla y se esperó 2 horas hasta que se enfrió, se sacó de la mufla, se enfrió en desecador, se pesó y anotó el peso exacto.

Los cálculos se determinaron mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra} = \frac{A - B}{m} \times 100$$

A= Peso del crisol con fibra seca

B= Peso crisol con cenizas

m= Peso de la muestra en gramos

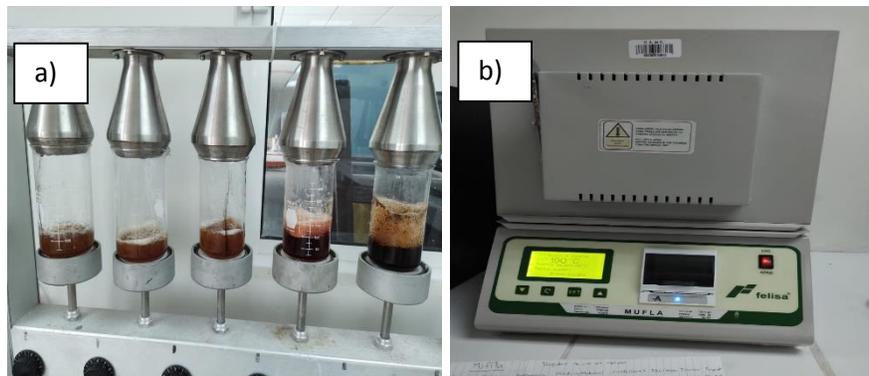


FIGURA 15. a) Digestión acida de muestras, b) Incinerado de fibra en mufla.

6.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1.- Evaluación de dimensiones del pan

6.1.1 Pan con harina de betabel deshidratado

El tamaño del ancho del pan se mantuvo en un mismo rango, mientras que la altura se vio un cambio al tamaño de las muestra a diferente concentración de harina, como se muestra en la TABLA 1.

Tabla 1. Dimensiones del pan con harina de betabel deshidratado

Concentración	Ancho	Altura
0%	5.9	4.3
5%	5.9	4.8
10%	6.1	4.5
15%	5.9	4.2
20%	5.9	3.8

El cambio en el tamaño del pan se ve afectado respecto a la concentración de harina y el contenido de humedad, fibra y los compuestos contenidos en la harina cuando se hidratan.

6.1.2.- Pan con harina de betabel horneado

El tamaño del ancho del pan tuvo variación, mientras que la altura se vio un cambio de decrecimiento respecto al tamaño del pan de harina comercial de trigo, como se muestra en la TABLA 2.

Tabla 2. Dimensiones del pan con harina de betabel horneado.

Concentración	Ancho	Altura
0%	5.9	4.3
5%	6.2	4.3
10%	5.5	3.9
15%	6.1	4
20%	5.8	3.7

El cambio en el tamaño del pan se ve afectado respecto a la concentración de harina y el contenido de humedad, fibra y los compuestos contenidos en la harina cuando se hidratan. Los tratamientos utilizados disminuyen el tamaño del pan cuando la concentración de harina de betabel aumenta, siendo el pan con harina de betabel horneada la que se ve más afectada respecto al tamaño del pan.

6.2.- Evaluación del color

6.2.1.- Pan de harina de betabel deshidratado

Las pruebas del colorímetro dieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 3. El pan control dio como resultado un color entre amarillo claro a blanco, mientras que el pan con el 5 % de concentración de harina de betabel presentó una coloración un tanto de rosa a rojo suave, la intensidad de color fue aumentando hasta obtener un rojo oscuro intenso en la concentración del 20% de harina de betabel.

Tabla 3. Parámetros de color del pan con harina de betabel deshidratado.

muestra	L	a	b	c
Blanco	80.2466667	8.05666667	25.49666667	26.52
PBD 5%	43.7066667	38.57	19.68666667	43.31
PBD 10%	34.17	42.49	17.48666667	45.97
PBD 15%	25.25	35.3533333	13.03	39.8133333
PBD 20%	22.2533333	35.05	11.4	36.8666667
HD	26.64	33.8966667	10.31333333	34.8766667

Los colores obtenidos por la deshidratación del betabel para la producción de harina no se vieron tan afectados, debido a que el deshidratado elimina la humedad, pero mantiene en mayor cantidad los pigmentos a diferencia del secado en horno en el cual se obtuvo colores marrones oscuros, esto debido a que algunos tratamientos térmicos desnaturalizan el contenido de betalainas del betabel, las cuales son las responsables del color tan característico de este vegetal (Badui-Dergal, 1999).

6.2.2.- Pan de harina de betabel horneado

Las pruebas del colorímetro dieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 4. El pan control dio como resultado un color entre amarillo claro a blanco, mientras que el pan con el 5 % de concentración de harina de betabel presentó una coloración café claro, la intensidad de color fue aumentando hasta obtener un color café marrón oscuro en la concentración del 20% de harina de betabel.

Tabla 4. Parámetros de color del pan con harina de betabel horneado.

muestra	L	a	b	c
Blanco	80.2466667	8.05666667	25.49666667	26.52
PBH 5%	44.95	18.94	25.03333333	31.39333333
PBH 10%	32.6566667	19.64	20.15	28.16
PBH 15%	32.41333333	20.86	20.63333333	29.5566667
PBH 20%	26.71333333	18.51	16.56333333	24.9566667
HH	29.59	22.76	15.85333333	26.8166667

El pan tuvo escalas de colores de café claro a oscuro, debido a que el método de secado en horno le dio un color marrón a la harina. El color del pan con harina deshidratada presentó colores de rojo suave a un rojo oscuro intenso respecto al pan con harina secada en horno presentó pigmentos de un café claro a un café oscuro. Siendo más llamativo y de mayor agrado el pan con harina deshidratada. La temperatura es un factor muy importante que influencia la estabilidad de las betalinas, debido a que como lo mencionan Ravichandran y col. (2011) la degradación de las betalinas posee una relación directamente proporcional con respecto al aumento de la temperatura.

6.1.- Polifenoles

6.1.1.- Pan de harina de betabel deshidratado

Los resultados de la concentración de Polifenoles, incluyendo el testigo, se determinaron mediante el método de Folin ciocalteu y se determinó que existe diferencias significativas entre la muestra control o blanco (pan sin harina de betabel) y las muestras donde se incorpora harina de betabel en diferentes concentraciones, ya que presenta tendencia a

incrementar el contenido de polifenoles si la cantidad de harina de betabel en el pan es mayor, la muestra de harina de betabel pura da como resultado mayor concentración de polifenoles, como se puede observar en la figura 1.

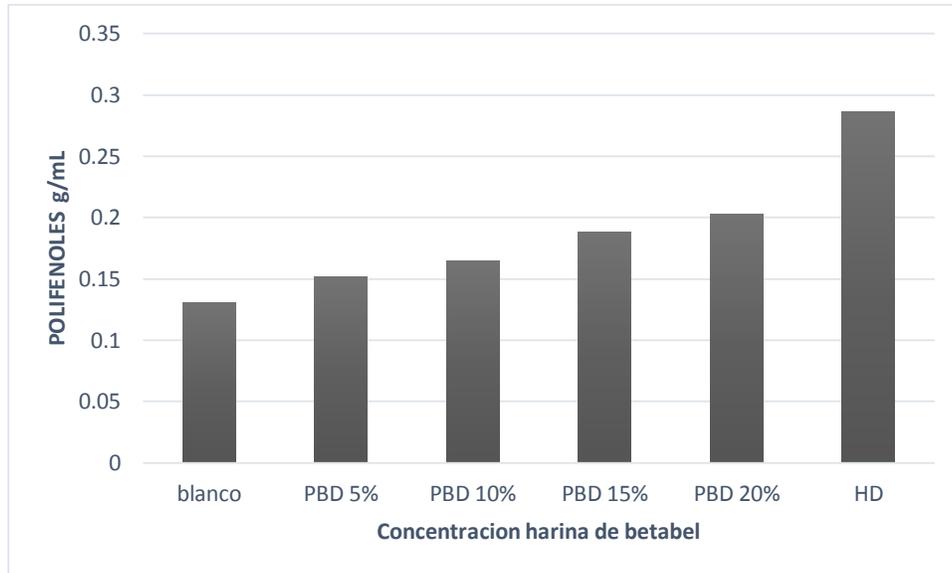


FIGURA 16. Contenido de polifenoles en pan de harina de betabel deshidratado.

La concentración de polifenoles en la muestra de la harina de betabel es mayor debido a que cuando se realizaron las formulaciones de pan se sustituyó la cantidad de harina de betabel en 5, 10, 15 y 20 %. Lo cual se puede identificar como el aumento en la concentración de polifenoles es directamente proporcional a la cantidad de harina sustituida. Obteniendo el valor más alto de polifenoles en la concentración del 20%. Esto representa claramente el efecto del betabel en las muestras de pan elaboradas con cada formulación. En general, los procesamientos térmicos ensayados tienen el mismo efecto sobre el contenido de betalainas y compuestos fenólicos totales (Kujala, 2000).

6.1.2.- Pan de harina de betabel horneado

Los resultados obtenidos del contenido de Polifenoles, incluyendo el testigo, se determinaron mediante el método de Folin ciocalteu y se determinó que existe diferencias significativas respecto a las muestras donde se añadió harina de betabel a (concentración del 5% hasta el 20%), presenta tendencia a incrementar el contenido de polifenoles de

0.16g/mL hasta 20g/mL si la cantidad de harina de betabel en el pan es mayor, la muestra de harina de betabel pura da como resultado mayor concentración de polifenoles a diferencia del blanco, como se puede observar en la figura 2.

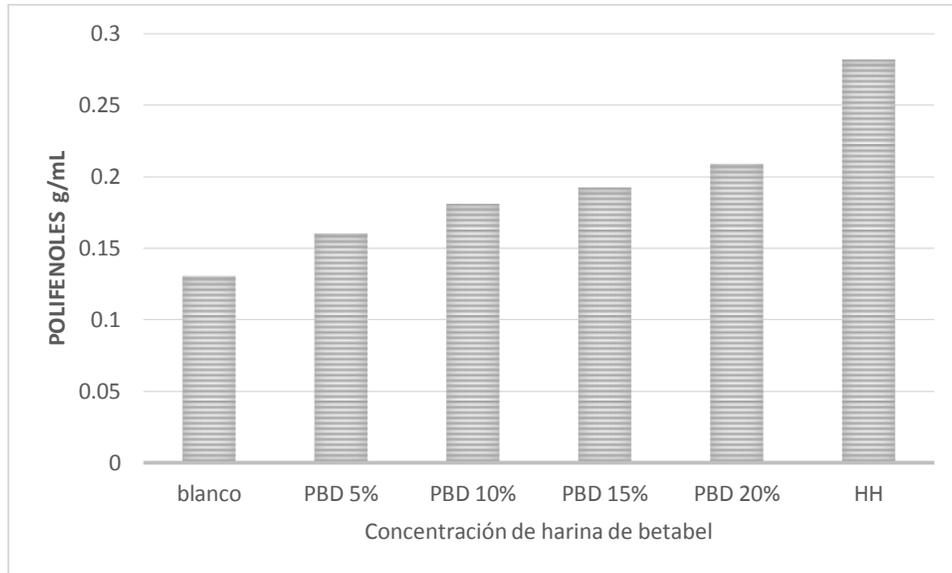


FIGURA 17. Contenido de polifenoles en pan de harina de betabel horneado.

La concentración de polifenoles en la muestra de la harina de betabel horneado al igual que en los resultados de la gráfica anterior (FIGURA 1. Pan de harina de betabel secada en deshidratador) también es mayor debido a que cuando se realizaron las formulaciones de pan se substituyó la cantidad de harina de betabel en 5, 10, 15 y 20 %. Lo cual se puede identificar como el aumento en la concentración de polifenoles es directamente proporcional a la cantidad de harina substituida. Obteniendo el valor más alto de polifenoles en la concentración del 20%. Esto representa claramente el efecto del betabel en las muestras de pan elaboradas con cada formulación. Los resultados en ambos tratamientos de secado (harina de betabel secada en horno y en deshidratador) son muy parecidos, en este caso se puede determinar que el tipo de secado no afecta en cuanto al resultado final del contenido de polifenoles en el pan.

6.2.- Antioxidantes (ABTS)

6.2.1.- Pan de harina de betabel deshidratado

El contenido de antioxidantes obtenidos en los resultados incluyendo el testigo, se determinaron mediante el método de ABTS y se determinó que se encuentran diferencias significativas respecto a las muestras donde se añadió harina de betabel y en el blanco, todas las muestras se encuentra en un rango de entre 0.70 – 0.73 g/mL. En la harina pura de betabel el resultado es menor (0.42g/mL), como se puede observar en la figura 3.

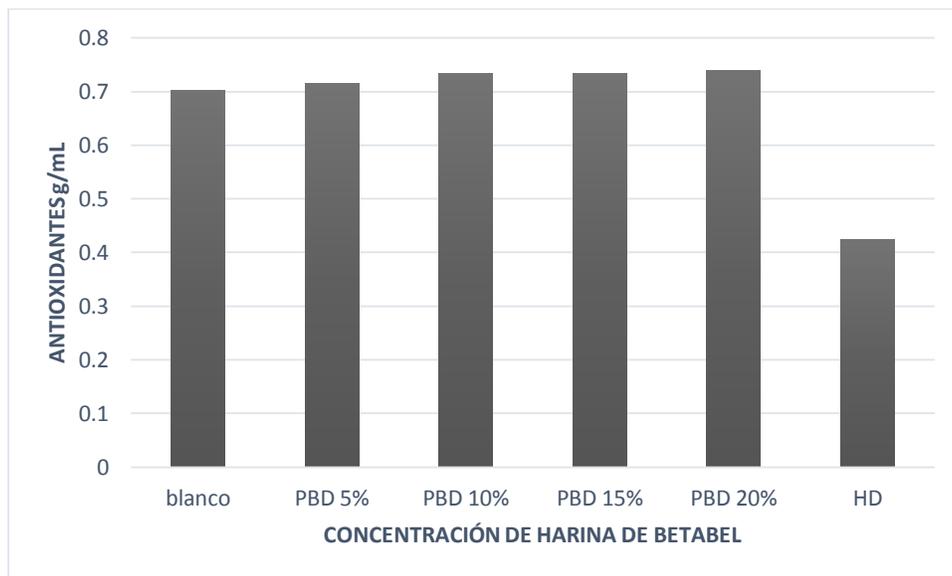


FIGURA 18. Antioxidantes en pan de harina de betabel deshidratado por ABTS.

El contenido de antioxidantes obtenidos mediante el método de (ABTS) presentó una tendencia a aumentar respecto de las concentraciones de harina de betabel en conjunto de la harina de trigo agregadas, la muestra de harina de betabel presenta un bajo contenido de antioxidantes, esto debido a que la aplicación de calor desnaturaliza los antioxidantes, reduciendo así su contenido.

6.2.2.- Pan de harina de betabel horneado

El contenido de antioxidantes obtenidos en los resultados del pan con harina de betabel horneada incluyendo el testigo, se determinaron mediante el método de ABTS y se determinó que existen diferencias significativas, ya que el contenido de antioxidantes va decreciendo cuando se agrega mayor concentración de harina de betabel. El resultado de

antioxidantes de la harina pura de betabel es menor al resto de todos los tratamientos, como se puede observar en la figura 4.

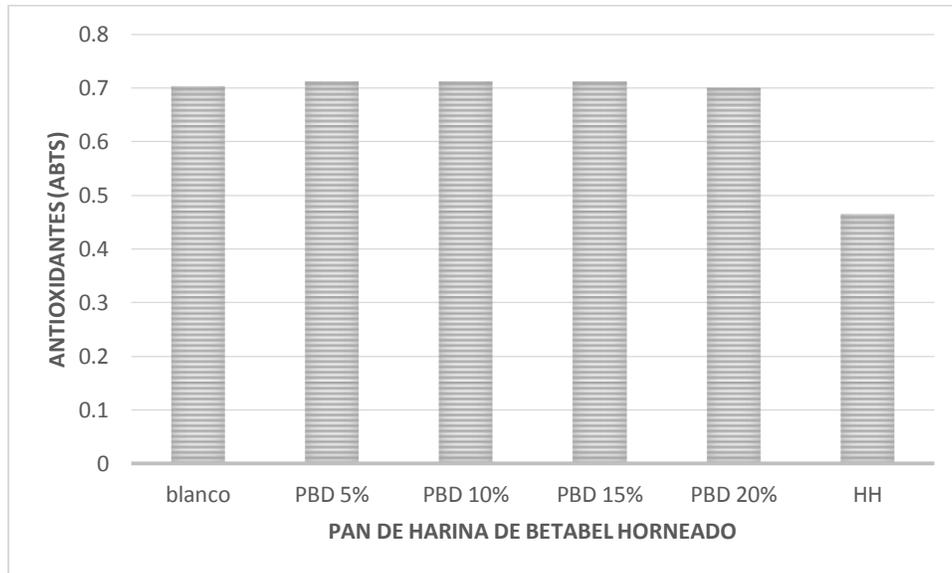


FIGURA 19. Antioxidantes en pan de harina de betabel horneado por ABTS.

En un estudio presentado por Wettasinghe y col. (2002), se demostró que las betalainas son muy eficientes en la reducción del radical $ABTS^{\bullet+}$ (hasta en un 85%). Los resultados presentados poseen una diferencia, ya que van en decrecimiento al compararlo con el tratamiento de harina deshidratada. La temperatura es un factor muy importante que influencia la estabilidad de las betalainas, debido a que como lo mencionan Ravichandran y col. (2011) la degradación de las betalainas y contenido de antioxidantes posee una relación directamente proporcional con respecto al aumento de la temperatura.

6.3.- Antioxidantes (DPPH)

6.3.1.- Pan de harina de betabel deshidratado

El contenido de antioxidantes obtenidos en los resultados incluyendo el testigo, se determinaron mediante el método de DPPH y se determinó que existen diferencias significativas respecto a las muestras donde se añadió harina de betabel y el blanco. La cantidad de antioxidantes va en aumento respecto a la concentración de harina de betabel

deshidratada. En la harina pura de betabel deshidratado el resultado es menor como se puede observar en la figura 3.

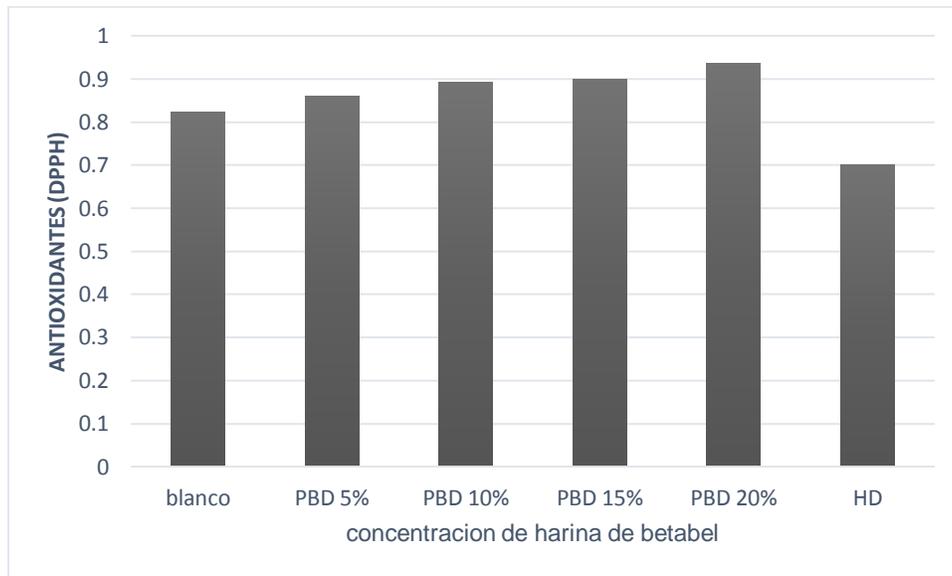


FIGURA 20. Antioxidantes en pan de harina de betabel deshidratado por DPPH.

La concentración de antioxidantes se observan directamente proporcionales respecto de la concentración de harina de betabel añadida. En la muestra de pan con harina de betabel al 20% se observa que es la muestra con mayor contenido, lo cual se puede identificar como el aumento en la concentración de antioxidantes es directamente proporcional a la cantidad de harina sustituida. Esto representa claramente el efecto del betabel en las muestras de pan elaboradas con cada formulación.

6.3.2.- Pan de harina de betabel horneado

Los resultados obtenidos del contenido de antioxidantes incluyendo el testigo, se determinaron mediante el método de DPPH y se determinó que no existen diferencias significativas entre las muestras donde se añadió harina de betabel, ya que todas se mantienen en un mismo rango (0.90 – 0.91g/mL). La cantidad de antioxidantes se mantiene aunque la cantidad de harina de betabel aumente. En la harina pura de betabel deshidratado el resultado es menor como se puede observar en la figura 6.

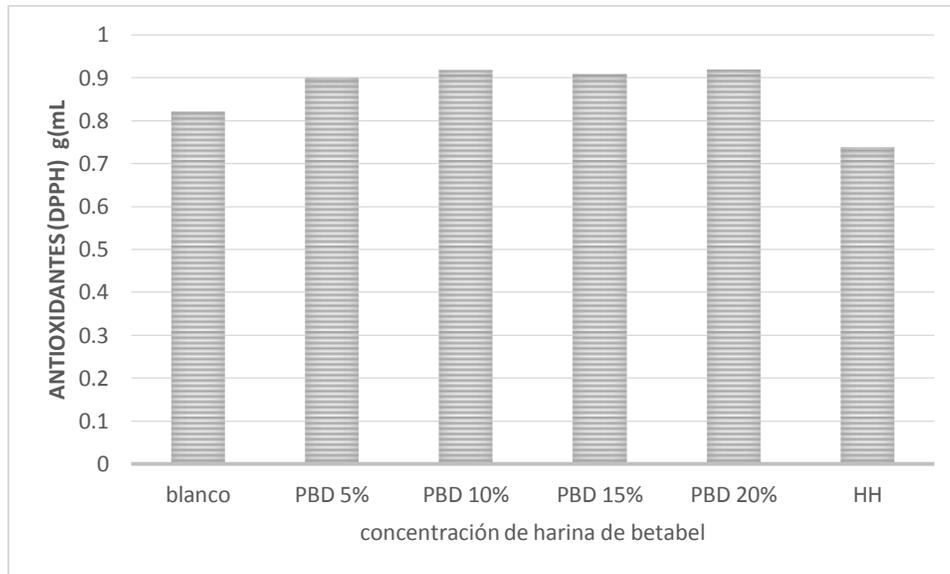


FIGURA 21. Antioxidantes en pan de harina de betabel horneado por DPPH.

Los resultados del contenido de antioxidantes de los dos tratamientos se presentan en las figuras 20 y 21. De acuerdo a los resultados se observa que existe una diferencia significativa entre todos los tratamientos térmicos aplicados, ya que cuando se aplica calor se desnaturalizan las betalainas, sin embargo se observa una menor pérdida de la actividad antioxidante mediante el tratamiento de deshidratación. Esto puede explicarse debido a la relación que existe entre los procesos térmicos a los que fueron sometidos. Las betalainas presentes en el betabel aumentan su actividad antioxidante (Cai y col., 2003).

6.4.- Humedad

6.4.1.- Pan de harina de betabel deshidratado

Los resultados obtenidos del contenido de humedad incluyendo el testigo, se determinaron mediante el método de secado en estufa y se determinó que existen diferencias significativas entre las muestras donde se añadió harina de betabel, ya que se observa un crecimiento en las concentraciones del 5% hasta el 20%, en un rango de (22% - 26% de humedad). La cantidad de humedad aumenta cuando se agrega mayor concentración de harina de betabel.

En la muestra testigo se observa un porcentaje cercano al de la muestra con concentración del 15% de harina de betabel (FIGURA 7).

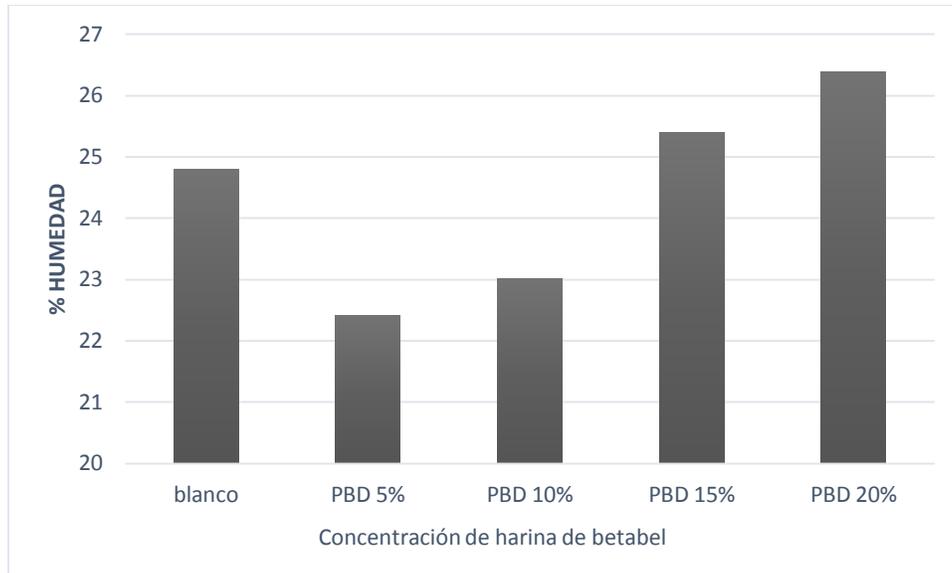


FIGURA 22. Contenido de humedad en pan de harina de betabel deshidratado

El contenido de humedad en las muestras con diferente concentración de harina de betabel va en aumento (concentraciones del 5% hasta el 20%), debido a que cuando se realizaron las formulaciones de pan, se sustituyó la cantidad de harina de betabel en 5, 10, 15 y 20%. Lo cual se puede identificar como el aumento en la humedad es directamente proporcional a la cantidad de harina sustituida. Obteniendo el valor más alto de humedad en la concentración del 20%. Esto representa claramente el efecto del betabel en las muestras de pan elaboradas con cada formulación.

6.4.2.- Pan de harina de betabel horneado

Los resultados obtenidos del contenido de humedad del pan con harina de betabel incluyendo el testigo, se determinaron mediante el método de secado en estufa y se determinó que existen diferencias significativas entre las muestras donde se añadió harina de betabel, ya que se observa un crecimiento en las concentraciones del 5% hasta el 20%,

en un rango de (21% - 23% de humedad). La cantidad de humedad aumenta cuando se agrega mayor concentración de harina de betabel.

En la muestra testigo se observa un porcentaje mayor al de las muestras con concentración del de harina de betabel (FIGURA 8).

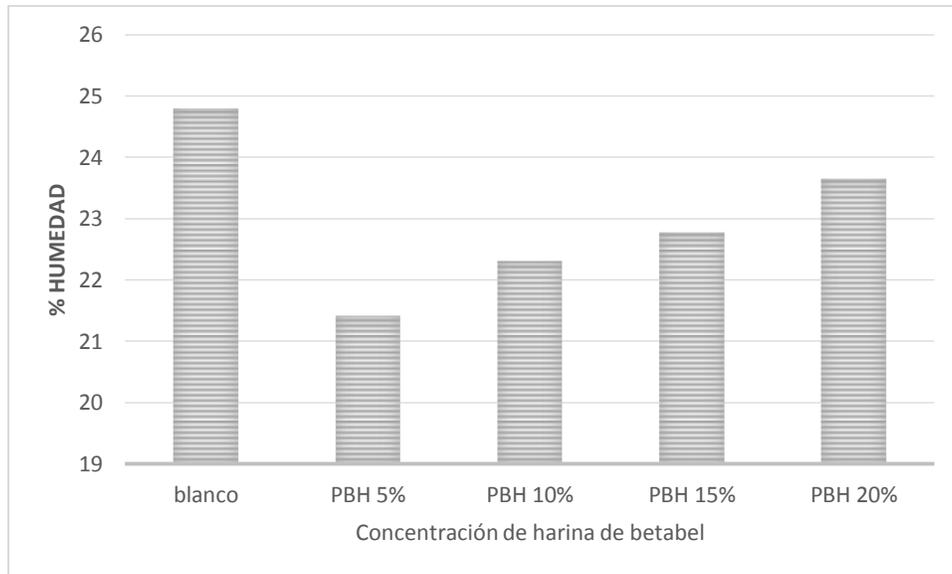


FIGURA 23. Contenido de humedad en pan de harina de betabel horneado

Los resultados del contenido de humedad obtenidos con el tratamiento de harina secada en horno, al igual que el tratamiento de secado por deshidratación presentan un aumento de humedad conforme se va incrementando la concentración de harina de betabel, el aumento va desde el 21% hasta el 23%, debido a que cuando se realizaron las formulaciones de pan, se sustituyó la cantidad de harina de betabel en 5, 10, 15 y 20%. Lo cual se puede identificar como el aumento en la humedad es directamente proporcional a la cantidad de harina sustituida. Obteniendo el valor más alto de humedad en la concentración del 20%. Esto representa claramente el efecto del betabel en las muestras de pan elaboradas con cada formulación. En comparación de los resultados anteriores del contenido de humedad de ambos tratamientos, la harina que fue tratada mediante un deshidratador tiene mayor contenido de humedad respecto de la harina que fue tratada en horno,

6.5.- Cenizas

6.5.1.- Pan de harina de betabel deshidratado

Los resultados obtenidos del contenido de cenizas en los diferentes tratamientos del pan con harina de betabel y la muestra control se determinaron mediante el método de calcinación en mufla, se determinó que existen diferencias significativas entre las muestras que se añadió harina de betabel, ya que va en aumento conforme a la concentración de harina de betabel agregada. Respecto a la muestra control, no es mucha la diferencia del contenido de cenizas en comparación a la harina pura de betabel que presenta un resultado mayor en contenido de cenizas, como se puede observar en la FIGURA 9.

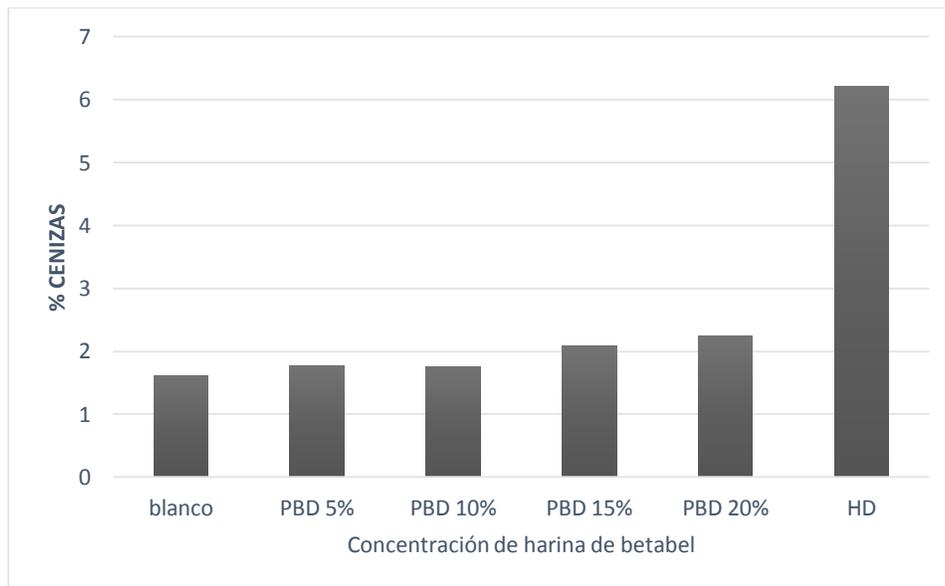


FIGURA 24. Contenido de cenizas en pan de harina de betabel deshidratado.

La concentración de cenizas en la muestra de la harina de betabel es mayor debido a que cuando se realizaron las formulaciones de pan se sustituyó la cantidad de harina de betabel en 5, 10, 15 y 20 %. Lo cual se puede identificar como el aumento en la concentración de cenizas es directamente proporcional a la cantidad de harina sustituida. Obteniendo el valor más alto de cenizas en la concentración del 20%. Esto representa claramente el efecto del betabel en las muestras de pan elaboradas con cada formulación.

6.5.2.- Pan de harina de betabel horneado

Los resultados obtenidos del contenido de cenizas en los diferentes tratamientos del pan con harina de betabel y la muestra control se determinaron mediante el método de calcinación en mufla, se determinó que existen diferencias significativas entre las muestras que se les añadió harina de betabel ya que se observa un incremento conforme la concentración de harina de betabel va aumentando. La concentración de cenizas de la muestra control es menor al de los tratamientos con harina de betabel, pero la muestra de harina pura de betabel dio como resultado una concentración mayor que el control y los tratamientos a diferente concentración de harina de betabel (FIGURA 10).

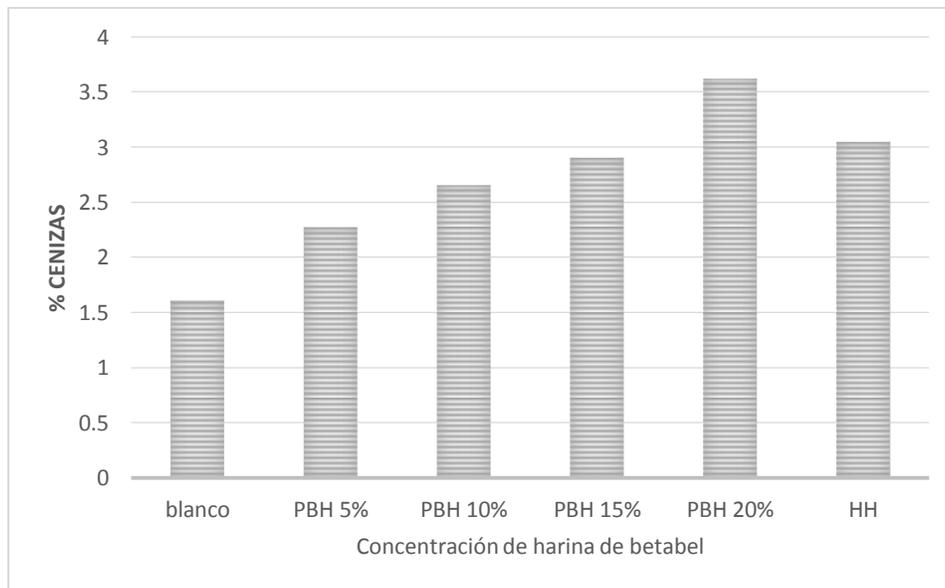


FIGURA 25. Contenido de cenizas en pan de harina de betabel horneado.

La concentración de cenizas en la muestra de la harina de betabel horneado al igual que en los resultados de la harina de betabel deshidratado (FIGURA 9) también se obtuvo un crecimiento proporcional respecto a las concentraciones de harina de betabel, esto debido a que cuando se añade harina de betabel el contenido de cenizas aumenta. Ambos tratamientos presentan tendencia a subir proporcionalmente, pero la diferencia es que la muestra del pan con harina secada en horno específicamente en la concentración del 20% rebasa el contenido de cenizas de harina pura de betabel a comparación de la harina deshidratada que se mantiene con el mayor contenido de cenizas respecto de todas las muestras. En este caso se puede determinar que el tipo de secado afecta en los resultados, si

el betabel es procesado mediante secado por deshidratación los minerales contenidos se conservan en mayor cantidad, y en el tratamiento de secado mediante horneado se pierden.

5.6.- Grasas

6.6.1.- Pan de harina de betabel deshidratado

La concentración de grasas obtenida de las muestras de pan con harina de betabel añadida y la muestra control se determinó mediante el método de Soxhlet, y no se obtuvieron diferencias significativas grandes entre las muestras con las diferentes concentraciones de harina de betabel, ya que todos los tratamientos se encuentran en un rango que va de entre 6 - 7% de contenido de grasa.

El porcentaje contenido de grasa de la muestra control es menor al de los tratamientos con harina de betabel, pero la muestra de harina pura de betabel dio como resultado una concentración en el mismo rango que los tratamientos a diferente concentración de harina de betabel (FIGURA 11).

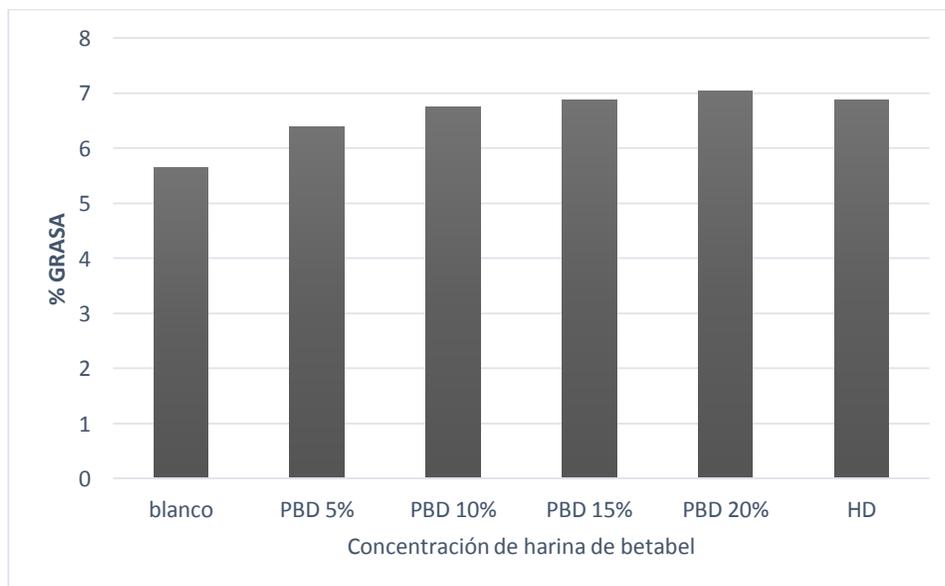


FIGURA 26. Contenido de grasa en pan de harina de betabel deshidratado.

El contenido de contenido de grasa en el pan con harina de betabel deshidratada va aumentando en pequeñas cantidades respecto de la concentración de harina de betabel añadida, debido a que las grasas contenidas en la muestra de harina de betabel son mayores

que las de la harina comercial. El tratamiento de secado (deshidratación) mantiene el contenido de grasas en la harina de betabel y estas se concentran al mezclarse.

6.6.2.- Pan de harina de betabel horneado

La concentración de grasas obtenida de las muestras de pan con harina de betabel añadida y la muestra control se determinó mediante el método de Soxhlet, y se obtuvieron diferencias significativas entre las muestras con las diferentes concentraciones de harina de betabel, ya que los tratamientos del 5%, 10%, 15% y 20% van en aumento conforme a la concentración de harina de betabel. El porcentaje contenido de grasa de la muestra control se encuentra en el rango de los tratamientos del 10% y 15%. La muestra de harina pura de betabel dio como resultado una concentración de grasa mayor que los tratamientos a diferente concentración de harina de betabel (FIGURA 11).

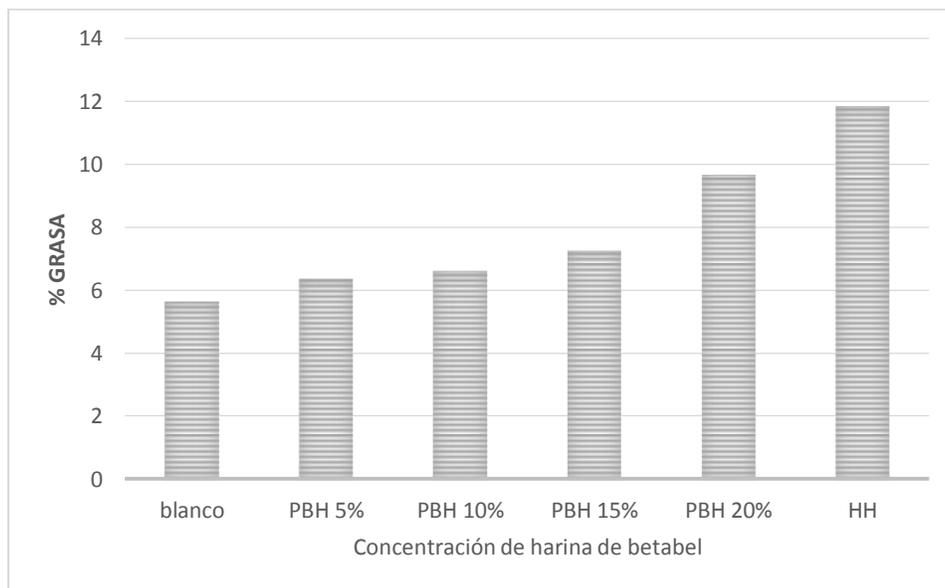


FIGURA 27. Contenido de grasa en pan de harina de betabel horneado.

Los resultados se pueden interpretar como el aumento del contenido de grasa conforme se añade la concentración de harina de betabel, ya que la harina presenta mayor contenido de grasas respecto de la harina de trigo comercial. Esto se debe a que mediante el método de secado en horno se concentra el contenido de grasas, pero al añadir calor durante proceso

de horneado del pan el contenido de grasas se reduce ya que se pierde en forma de vapor junto con el agua y otros compuestos.

6.7.- Fibra cruda

6.7.1.- Pan de harina de betabel deshidratado

La concentración de fibra cruda obtenida de las muestras de pan con harina de betabel añadida y la muestra control se determinó mediante el método de digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado del residuo. Se obtuvieron diferencias significativas entre las muestras con las diferentes concentraciones de harina de betabel, ya que los tratamientos del 5%, 10%, 15% y 20% van en aumento conforme a la concentración de harina de betabel. El porcentaje contenido de fibra de la muestra control con harina comercial de trigo se encuentra en 0 y con la muestra de harina pura de betabel se obtuvo como resultado un mayor contenido de fibra, que va por encima de los resultados de los tratamientos a diferente concentración de harina de betabel (FIGURA 12).

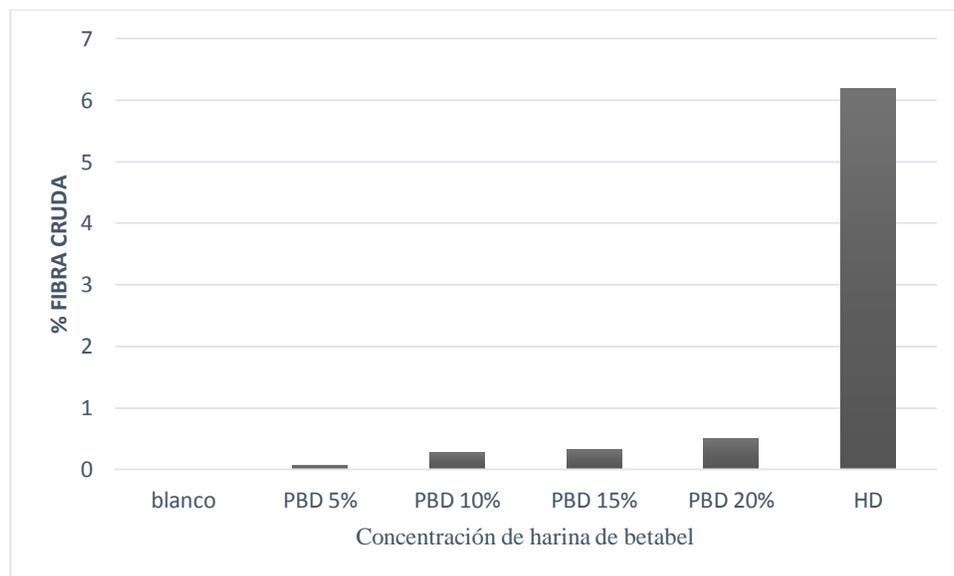


FIGURA 28. Contenido de fibra cruda en pan de harina de betabel deshidratado.

Los resultados de concentración de fibra cruda en la muestra de harina es mayor debido a que se realizaron las formulaciones y se sustituyó la cantidad de harina de betabel en 5, 10,15 y 20%, lo cual se puede identificar como el incremento de fibra es directamente proporcional respecto a la cantidad de harina sustituida. Obteniendo un valor más alto de fibra en la concentración del 20 %. Esto representa claramente el efecto del betabel en las muestras de pan elaboradas con cada formulación.

6.7.2.- Pan de harina de betabel horneado

La concentración de fibra cruda obtenida de las muestras de pan con harina horneada de betabel añadida y la muestra control se determinó mediante el método de digestión con soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio y calcinado del residuo. Se obtuvieron diferencias significativas entre las muestras con las diferentes concentraciones de harina de betabel, ya que los tratamientos del 5% al 20% van en aumento conforme a la concentración de harina de betabel va aumentando. En la muestra control de harina comercial no se obtuvo presencia de fibra, mientras que en la muestra de harina pura de betabel horneado fue donde se encontró mayor presencia de fibra que en los tratamientos de harina de trigo con harina de betabel (FIGURA 13).

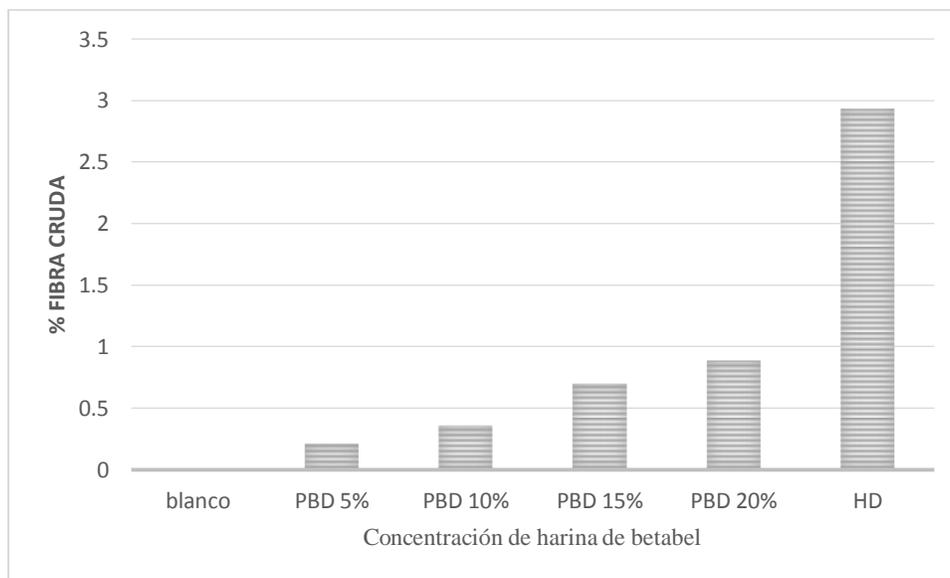


FIGURA 29. Contenido de fibra cruda en pan de harina de betabel horneado.

La concentración de fibra en la muestra de la harina de betabel horneado al igual que en los resultados de la harina de betabel deshidratado (FIGURA 13) también se obtuvo un crecimiento proporcional respecto a las concentraciones de harina de betabel, esto debido a que cuando se añade harina de betabel el contenido de cenizas aumenta. Ambos tratamientos presentan tendencia a subir proporcionalmente y en ambos la harina de betabel tiene mayor contenido de fibra, respecto de las muestras de pan con las diferentes concentraciones de harina de betabel, pero la diferencia entre ambos métodos de secado es que el deshidratado presenta el doble de contenido de fibra, lo cual se puede determinar que se mantiene más la fibra cruda por secado mediante deshidratación que por secado en horno.

5.8.- Proteínas

6.8.1.- Pan de harina de betabel deshidratado

El resultado del contenido de proteína obtenida de las muestras de pan con harina horneada de betabel añadida y la muestra control se determinó mediante el método de kjeldahl. Se obtuvieron diferencias significativas entre las muestras con las diferentes concentraciones de harina de betabel, ya que los tratamientos del 5% al 20% van en aumento conforme a la concentración de harina de betabel. En la muestra control de harina comercial se obtuvo un valor mayor al contenido en la harina pura de betabel deshidratado (FIGURA 14).

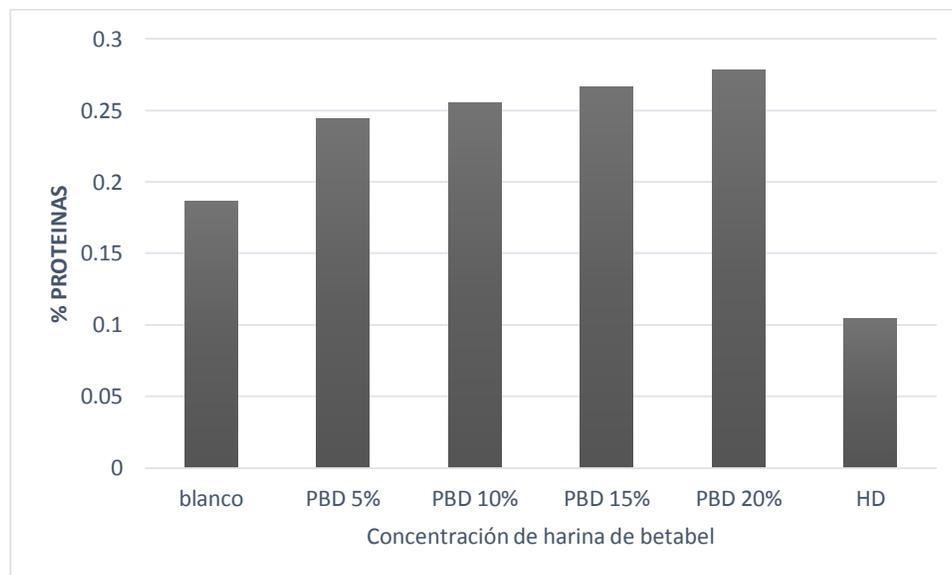


FIGURA 30. Contenido de proteína en pan de harina de betabel deshidratado.

En los resultados del contenido proteico en las muestras de pan con harina de betabel añadida se puede apreciar un aumento y un bajo contenido en la muestra de harina de betabel, el resultado del aumento se debe a que las proteínas al momento de añadir agua, estas la retienen y las moléculas aumentan de tamaño, por eso se pueden apreciar mayores cantidades en las muestras de pan con diferente concentración de harina de betabel. El tratamiento térmico aplicado (secado por deshidratación) no rompe las proteínas, permitiendo así la capacidad de retención de agua.

6.8.2.- Pan de harina de betabel horneado

El resultado del contenido de proteína obtenida de las muestras de pan con harina horneada de betabel añadida y la muestra control se determinó mediante el método de kjeldahl. Se obtuvieron diferencias significativas entre las muestras con las diferentes concentraciones de harina de betabel, ya que los tratamientos del 5% al 20% van decreciendo conforme la concentración de harina de betabel aumenta. En la muestra control de harina comercial se observa mayor cantidad de proteína y en la muestra de harina pura de betabel se observa menor cantidad respecto de todos los tratamientos (FIGURA 15).

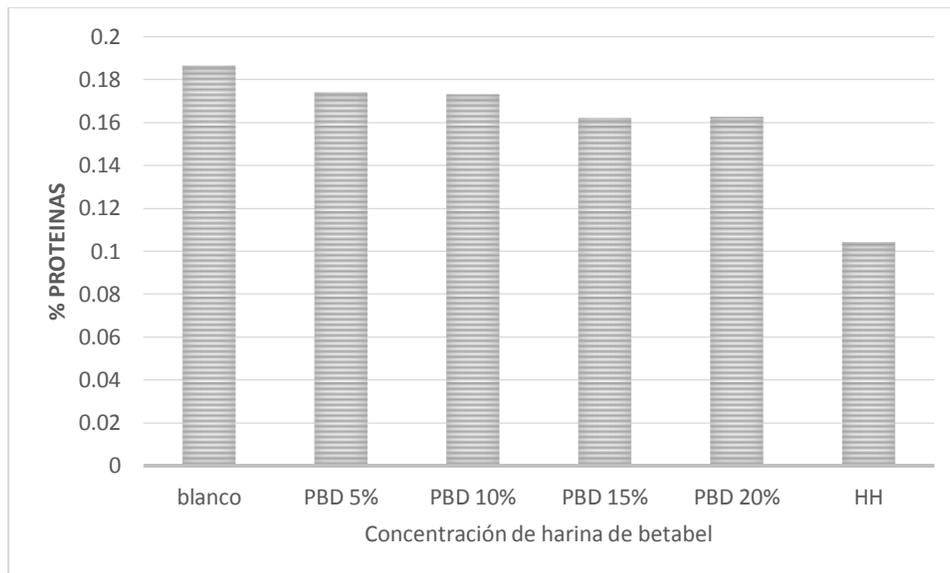


FIGURA 31. Contenido de proteína en pan de harina de betabel horneado.

La cantidad de proteínas resultantes se observan en decrecimiento, siendo el pan control con el mayor contenido y el de la concentración del 20% el menor, esto debido a que la harina de betabel añadida presenta un contenido bajo de proteínas, ya que por el tratamiento de secado con temperaturas altas desnaturaliza las proteínas y éstas pierden su capacidad de retención de agua, y no se ve un incremento como en los resultados del pan con harina tratada con deshidratador. Por eso a mayor concentración de harina de betabel se ve afectado el contenido proteico, entonces el contenido de proteínas está directamente ligado al tratamiento térmico aplicado.

7.- CONCLUSIONES

Se obtuvo harina de betabel mediante dos tipos de tratamientos térmicos (secado mediante un deshidratador y secado mediante horno), se formuló y se elaboró el pan a diferentes concentraciones de harina de betabel. Se caracterizó física y nutrimentalmente obteniendo como resultado que el tamaño del pan se ve afectado respecto a las concentraciones de harina de betabel aplicadas siendo el más afectado el de harina de betabel secado en horno, en cuanto al color, el pan con harina de betabel deshidratado presentó un color rojo suave a un rojo intenso de aspecto más agradable.

El contenido de polifenoles se ve mejorado de un 0.1 a un 0.2% cuando la concentración de harina de betabel aumenta en ambos métodos de secado. En cuanto a los antioxidantes contenidos en el pan con harina deshidratada se nota un crecimiento, mientras que en el pan de harina horneada se mantiene.

Respecto a la humedad, el pan con harina de betabel deshidratado presenta mayor humedad que el de harina horneada. El contenido de cenizas, está directamente relacionado con el contenido de minerales, y éste aumenta cuando la concentración de harina de betabel aumenta, siendo la harina procesada mediante el tratamiento térmico de deshidratado la que tiene mayor contenido. El resultado de grasas presentes en el pan con harina horneada es mayor que el de harina deshidratada. El contenido de fibra en el pan a diferentes concentraciones respecto al de harina comercial de trigo aumenta del 0 al 1%. En ambos tratamientos de térmicos aumenta lo mismo, pero la harina que contiene más fibra es la deshidratada. El resultado de proteína va en aumento de 0.18 a 0.27% respecto a la harina de betabel deshidratada, mientras que con la harina de betabel horneada el contenido de proteína disminuye.

Analizando todos los datos generalmente, el mejor tratamiento térmico que aumenta los valores de funcionalidad en el pan es el deshidratado, ya que aumenta el contenido nutrimental, polifenoles y capacidad antioxidante.

8.- BIBLIOGRAFIA

- Ashraf, W., Shehzad, A., Sharif, H. R., Aadil, R. M., Rafiq Khan, M., & Zhang, L. (2020). Influence of selected hydrocolloids on the rheological, functional, and textural properties of wheat-pumpkin flour bread. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(10), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14777>
- Badui-Dergal, S. (1999). *Química de los alimentos*. México: Pearson.
- Cai, Y., Sun, M., & Corke, H. (2003). Antioxidant activity of betalains from plants of the Amaranthaceae. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(8), 2288-2294.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K. K., & Liu, R. H. (2002). Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(10), 3010-3014.
- Dirección, E. E. P. C. (2009). *Estudio de las Propiedades Fisicoquímicas y Antioxidantes de jugo de betabel (Beta vuígaris L) secado por aspersion*. 9–14.
- Gómez-Aldapa, C. A., Rangel-Vargas, E., Bautista-De León, H., & Castro-Rosas, J. (2014). Presence of non-O157 Shiga toxin-producing *Escherichia coli*, enterotoxigenic *E. coli*, enteropathogenic *E. coli* and *Salmonella* in fresh beetroot (*Beta vulgaris L.*) juice from public markets in Mexico. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(13), 2705–2711. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6614>
- Kujala, T. S., Loponen, J. M., Klika, K. D., & Pihlaja, K. (2000). Phenolics and Betacyanins in Red Beetroot (*Beta vulgaris*) Root: Distribution and Effect of Cold Storage on the Content of Total Phenolics and Three Individual Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5338-5342.
- López-Palacios, K. G., Gonzales-Cortés, N., J. M.-E. E., Luna Jimenez, A. L., & Jimenez-Vera, R. (2018). Jugo de betabel (*Beta vulgaris L.*) y panela fermentados con *Saccharomyces bayanus*. *In Crescendo*, 9(3), 368–370. [file:///C:/Users/Cristhian Moreno/Downloads/2032-7290-1-PB.pdf](file:///C:/Users/Cristhian%20Moreno/Downloads/2032-7290-1-PB.pdf)
- Mastromatteo, M., Danza, A., Guida, M., & Del Nobile, M. A. (2012). Formulation

- optimisation of vegetable flour-loaded functional bread Part I: Screening of vegetable flours and structuring agents. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(6), 1313–1320. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.02975.x>
- Powrie, W. D., & Industries, F. (n.d.). *Electrophoretic Separation of Beet Pigments of*. 214–220.
- Ravichandran, K., Saw, N.M.M.T., Mohdaly, A.A., Gabr, A.M., Kastell, A., Riedel, H., Cai, Z., Knorr, D. and Smetanska, I. “Impact of processing of red beet on betalain content and antioxidant activity”. *Food research international*, 50(2), 670-675, 2013.
- Sakee, U. (2014). efecto del procesamiento termico de antioxidantes. *Tetrahedron Letters*, 55, 3909.
- ur-Rehman, S., & Awan, J. A. (2012). Dehydration of Fruit and Vegetables in Tropical Regions. *Progress in Food Preservation*, 191–209. <https://doi.org/10.1002/9781119962045.ch9>
- Wettasinghe, M., Bolling, B., Plhak, L., Xiao, H., & Parkin, K. (2002). Phase II enzyme-inducing and antioxidant activities of beetroot (*Beta vulgaris* L.) extracts from phenotypes of different pigmentation. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(23), 6704-6709.
- Willman Zamora, R. (2017). Universidad de Guadalajara. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencia y Nanotecnología*, 9(17), 43. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2016.17.58150>
- Zuleta, Á., Binaghi, M. J., Greco, C. B., Aguirre, C., De la Casa, L., Tadini, C., & de Ferrer, P. A. R. (2012). Diseño de panes funcionales a base de harinas no tradicionales. *Revista Chilena de Nutricion*, 39(3), 58–64. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000300009>