

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DEL TRONCO DE
BRÓCOLI (*Brassica Oleracea* var. *Italica*) SOMETIDO A DIFERENTES PROCESOS
DE DESHIDRATACIÓN

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR
VICTOR MANUEL MORAFLORES CIFUENTES
PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA EN CIENCIAS DE ALIMENTOS

GUATEMALA

2013

DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DEL TRONCO DE
BRÓCOLI (*Brassica Oleracea* var. *Italica*) SOMETIDO A DIFERENTES PROCESOS
DE DESHIDRATACIÓN

UNIVERSIDAD DEL VALLE
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN DE LA HARINA DEL TRONCO DE
BRÓCOLI (*Brassica Oleracea* var. *Italica*) SOMETIDO A DIFERENTES PROCESOS
DE DESHIDRATACIÓN

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR
VICTOR MANUEL MORAFLORES CIFUENTES
PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA EN CIENCIAS DE ALIMENTOS

GUATEMALA

2013

Vo. Bo.:

(f) Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Licenciada Ana Silvia Colmenares de Ruiz
Asesora

Tribunal Examinador:

(f) Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Licenciada Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f) Patricia Palacios de Palomo

Licenciada Patricia Palacios de Palomo

(f) Elsa Georgina Gudiel Aguilar

Ingeniera Elsa Georgina Gudiel Aguilar

Fecha de aprobación: Guatemala, 03 de Diciembre de 2013

PREFACIO

En Guatemala, la falta de alimento constituye uno de los principales problemas socio-económicos; la búsqueda de soluciones se ha incrementado con los años, ya que la población sigue aumentando y la desnutrición también. Una de las vías para solucionar la situación ha sido el reciclaje o aprovechamiento de lo que alguna vez se consideraba desperdicio de otros productos alimenticios.

Otro problema de actualidad es la poca o escasez de materia prima para desarrollar productos para poblaciones específicas con problemas de salud, intolerancias o alergias alimenticias.

Con la finalidad de obtener información de relevancia sobre el tema, esta investigación, que se constituye en el trabajo expuesto en esta tesis, buscó describir una alternativa a la problemática mencionada anteriormente.

El estudio se enfocó en aportar datos que sirvan de base para estudios posteriores tanto de desarrollo como de análisis, que se asimilen con las demandas que se puedan dar en la industria alimenticia.

ÍNDICE

| | |
|---|-------------|
| PREFACIO | II |
| LISTA DE CUADROS..... | VI |
| LISTA DE CROMATOGRAMAS..... | VII |
| LISTA DE DIAGRAMAS Y ESPECTROS..... | VIII |
| LISTA DE GRÁFICAS..... | IX |
| LISTA DE IMÁGENES..... | X |
| LISTA DE TABLAS..... | XI |
| RESUMEN..... | XIII |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO | 2 |
| A. BRÓCOLI | 2 |
| B. COMPOSICIÓN FÍSICA Y QUÍMICA..... | 3 |
| C. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL..... | 6 |
| D. PRODUCCIÓN NACIONAL | 8 |
| E. FUNCIONALIDAD | 11 |
| F. DESHIDRATACIÓN DEL BRÓCOLI | 12 |
| G. ESCALDADO | 14 |
| H. ANÁLISIS SENSORIAL | 15 |
| I. HARINAS COMPUESTAS | 17 |
| J. HARINA DE TRIGO, ARROZ Y MAÍZ | 19 |
| K. SNACKS..... | 23 |

| | | |
|------|--|----|
| L. | ENMASCARAR SABORES Y OLORES..... | 23 |
| M. | ANÁLISIS DE VIDA DE ANAQUEL | 24 |
| III. | JUSTIFICACIÓN | 26 |
| IV. | OBJETIVOS..... | 28 |
| A. | General..... | 28 |
| B. | Específicos | 28 |
| V. | METODOLOGÍA | 29 |
| I. | FASE 1: EVALUACIÓN DE PROCESOS DE DESHIDRATADO Y ESCALDADO. | 32 |
| II. | FASE 2: RENDIMIENTOS, COSTOS, GRANULOMETRÍA, CURVA DE SECADO, DENSIDAD..... | 32 |
| III. | FASE 3: EVALUACIÓN EN LA HARINA DE TRONCO DE BRÓCOLI OBTENIDA POR EL PROCESO ESCOGIDO..... | 33 |
| VI. | RESULTADOS | 34 |
| VII. | DISCUSIÓN..... | 47 |
| A. | Fase 1..... | 47 |
| 1. | Vitamina C | 47 |
| 2. | Polifenoles totales. | 50 |
| 3. | Capacidad antioxidante | 51 |
| 4. | Relación Polifenoles totales-capacidad antioxidante | 53 |
| 5. | Índice de absorción de aceite. | 53 |
| 6. | Índice de absorción de agua. | 54 |
| 7. | Relación índice de absorción de agua y de aceite..... | 55 |
| 8. | Índices de absorción de aceite y agua; comparación con otras harinas..... | 56 |
| B. | Fase 2..... | 56 |
| 1. | Rendimiento y costos | 56 |
| 2. | Distribución de partícula, curva de secado, humedad y densidad..... | 58 |
| C. | Fase 3..... | 60 |
| 1. | Análisis proximal..... | 60 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 2. | <i>Vida de anaquel de la harina.</i> | 61 |
| 3. | <i>Nachos.</i> | 61 |
| VIII. | CONCLUSIONES | 65 |
| IX. | RECOMENDACIONES | 68 |
| X. | BIBLIOGRAFÍA | 69 |
| | ANEXOS | 73 |

LISTA DE CUADROS

| | |
|---|----|
| Cuadro No. 1: Propiedades químicas y fisicoquímicas de la harina de tallo y tronco del brócoli | 3 |
| Cuadro No. 2: Análisis proximal de harina del tronco de brócoli realizado por Valenzuela | 4 |
| Cuadro No. 3: Composición nutricional de brócoli crudo en g/100 g en base húmeda. | 4 |
| Cuadro No. 4 Contenido de aminoácidos en el brócoli..... | 6 |
| Cuadro No. 5: Cantidad de carotenos en brócoli..... | 7 |
| Cuadro No. 6 Producción y rendimiento de cosecha de brócoli por año | 10 |
| Cuadro No. 7: Importaciones y exportaciones del brócoli por año | 10 |
| Cuadro No. 8: Humedad y temperatura de producto fresco y deshidratado | 13 |
| Cuadro No. 9: Aminoácidos de harina de trigo y grano de trigo | 20 |
| Cuadro No. 10: Comparación en composición entre harinas de trigo, amaranto, arroz, alforfón, maíz, y soya (base seca) | 21 |
| Cuadro No. 11: Muestras de Brócoli tipo Marathon | 29 |
| Cuadro No. 12: Iniciales para nombrar las harinas. | 31 |

LISTA DE CROMATOGRAMAS

| | |
|--|----|
| Cromatograma # 1: Realizado para el análisis de vitamina C..... | 75 |
| Cromatograma # 2: Realizado para integración en análisis de vitamina C..... | 76 |
| Cromatograma # 3: Concentración de vitamina C en muestra de harina | 78 |
| Cromatograma # 4: Concentración de estándar de ácido ascórbico..... | 79 |
| Cromatograma # 5: Concentraciones de vitamina C en muestras..... | 80 |
| Cromatograma # 6: Concentración de vitamina C en muestra por método 2..... | 81 |
| Cromatograma # 7: Diferencia en concentración de vitamina C en muestra | 82 |
| Cromatograma # 8: Concentración de vitamina C en muestras | 83 |
| Cromatograma # 9: Muestra ejemplo de concentración de vitamina C en muestra de harina a 234nm..... | 84 |
| Cromatograma # 10: Muestra ejemplo 2 de concentración de vitamina C en muestra de harina a 234nm..... | 84 |

LISTA DE DIAGRAMAS Y ESPECTROS

| | |
|--|----|
| Diagrama 1: Obtención de la harina..... | 30 |
| Espectro # 1: Concentración de vitamina C en muestra..... | 77 |
| Espectro # 2: Concentración de vitamina C en estándar..... | 77 |

LISTA DE GRÁFICAS

| | |
|---|-----|
| Gráfica # 1: Índice de absorción de aceite de harinas obtenidas por los diferentes procesos | 35 |
| Gráfica # 2: Índice de absorción de agua de harinas obtenidas por los diferentes procesos | 36 |
| Gráfica # 3: Índices de absorción de agua y aceite de diferentes tipos de harina en comparación con harina de tronco de brócoli | 37 |
| Gráfica # 4: Porcentajes de rendimiento obtenidos por cada proceso en la harina producida a partir del tronco de ALCOSA..... | 38 |
| Gráfica # 5: Porcentajes de rendimiento obtenidos por cada proceso en la harina producida a partir del tronco de Chimaltenango. | 39 |
| Gráfica # 6: Cantidad de tronco triturado deshidratado/lioofilizado por tiempo de proceso | 40 |
| Gráfica # 7: Costos aproximados de procesos..... | 41 |
| Gráfica # 8: Distribución de partícula entre harinas de tronco de brócoli de 2 tipos diferentes | 42 |
| Gráfica # 9: Distribución de partícula en comparación con otros tipos de harinas existentes en el mercado | 42 |
| Gráfica # 10 Distribución de partes de brócoli comercial..... | 43 |
| Gráfica # 11 Curva de secado por horno de convección..... | 43 |
| Gráfica # 12: Curva de calibración para vitamina C usando ácido L-ascórbico como estándar | 85 |
| Gráfica # 13: Curva de catecol, concentración de catecol vs. absorbancia por F.C., ecuación de recta y R..... | 85 |
| Gráfica # 14: Curva DPPH muestra NE 1 | 88 |
| Gráfica # 15: Curva DPPH muestra NE 2..... | 88 |
| Gráfica # 16: Curva DPPH muestra ONE 1 | 89 |
| Gráfica # 17: Curva DPPH muestra ONE 2 | 89 |
| Gráfica # 18: Curva DPPH muestra NEL 1 | 90 |
| Gráfica # 19: Curva DPPH muestra NEL 2 | 90 |
| Gráfica # 20: Curva DPPH muestra ONEM 1 | 91 |
| Gráfica # 21: Curva DPPH muestra ONEM 2 | 91 |
| Gráfica # 22: Curva DPPH muestra NEM 1 | 92 |
| Gráfica # 23: Curva DPPH muestra NEM 2 | 92 |
| Gráfica # 24: Curva DPPH muestra ONEL 1..... | 93 |
| Gráfica # 25: Curva DPPH muestra ONEL 2..... | 93 |
| Gráfica # 26: Curva DPPH muestra OEV 1 | 94 |
| Gráfica # 27: Curva DPPH muestra OEV 2 | 94 |
| Gráfica # 28: Curva de tendencia de vida de anaquel según parámetros | 100 |
| Gráfica # 29: Curva de tendencia de vida de anaquel según actividad de agua | 100 |
| Gráfica # 30: Distribución de comentarios realizados por prueba de ordenamiento..... | 101 |
| Gráfica # 31: Distribución de razones y comentarios para prueba de preferencia | 104 |

LISTA DE IMÁGENES

| | |
|--|-----|
| Imagen # 1: Formulaciones de nachos | 46 |
| Imagen # 2: Gráfica 3D por cromatógrafo de diodos, para concentración de vitamina C en muestra. | 78 |
| Imagen # 3: Datos de curva de calibración de ácido L-ascórbico | 84 |
| Imagen # 4: Liofilización | 105 |
| Imagen # 5: Tronco deshidratado | 105 |
| Imagen # 6: Ciclón para molienda | 105 |
| Imagen # 7: Desperdicio donde se obtiene el tronco | 105 |
| Imagen # 8: Deficiencia de boro | 105 |
| Imagen # 9: Troncos | 105 |
| Imagen # 10: Animal presente en troncos | 105 |
| Imagen # 11: Desinfección de troncos | 105 |
| Imagen # 12: Tronco triturado en bandejas | 105 |
| Imagen # 13: Deshidratado por convección | 105 |
| Imagen # 14: Molida | 105 |
| Imagen # 15: Tronco luego de separación de tallos | 105 |
| Imagen # 16: Tronco ALCOSA como viene en desperdicio | 106 |
| Imagen # 17: Tronco de Chimaltenango como viene en desperdicio | 106 |
| Imagen # 18: Viales de HPLC para vitamina C | 106 |
| Imagen # 19: Extractos de vitamina C de las harinas | 106 |
| Imagen # 20: Códigos para prueba sensorial | 106 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla # 1: Concentración de vitamina C en harinas obtenidas por diferentes procesos de secado... | 34 |
| Tabla # 2: Polifenoles totales; equivalentes de catecol en muestras de harinas obtenidas por diferentes procesos | 34 |
| Tabla # 3: Capacidad antioxidante realizada por método de DPPH | 35 |
| Tabla # 4: Densidades y humedades según tipo de brócoli..... | 44 |
| Tabla # 5: Análisis proximal de la harina de tronco de brócoli..... | 44 |
| Tabla # 6: Vida de anaquel de la harina según parámetro..... | 44 |
| Tabla # 7: Formulaciones de nachos realizadas | 45 |
| Tabla # 8: Resultados de prueba sensorial de ordenamiento..... | 45 |
| Tabla # 9: Resultado de prueba de preferencia pareada..... | 45 |
| Tabla # 10: Análisis de dureza, ancho, y diámetro de nachos..... | 46 |
| Tabla # 11: Análisis de varianzas de concentraciones de vitamina C realizado con la herramienta de Excel 2013..... | 73 |
| Tabla # 12: Varianzas de concentraciones de vitamina C calculadas por Excel 2013..... | 73 |
| Tabla # 13: Análisis de correlación para vitamina C realizado con Excel 2013..... | 74 |
| Tabla # 14: Análisis de varianzas de concentraciones de equivalentes de catecol realizado con la herramienta de Excel 2013..... | 85 |
| Tabla # 15: Varianzas de concentraciones de equivalentes de catecol calculadas por Excel 2013... | 86 |
| Tabla # 16: Tiempo de proceso utilizado por muestra | 86 |
| Tabla # 17: Humedad de tronco triturado | 86 |
| Tabla # 18: Análisis de varianzas de 1/EC50s realizado con la herramienta de Excel 2013..... | 87 |
| Tabla # 19: Varianzas 1/EC50s calculadas por Excel 2013..... | 87 |
| Tabla # 20: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para relación polifenoles totales-EC50 de ALCOSA | 95 |
| Tabla # 21: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para relación polifenoles totales-EC50 de Chimaltenango..... | 95 |
| Tabla # 22: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para polifenoles totales | 95 |
| Tabla # 23: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para EC50 | 95 |
| Tabla # 24: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para proceso de escaldado..... | 95 |
| Tabla # 25: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para índice de absorción de agua | 96 |
| Tabla # 26: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para índice de absorción de aceite... | 96 |
| Tabla # 27: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para índices de absorción de ALCOSA..... | 96 |
| Tabla # 28: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para índices de absorción de Chimaltenango | 97 |
| Tabla # 29: Análisis de varianzas de análisis proximal realizado con la herramienta de Excel 2013..... | 97 |
| Tabla # 30: Varianzas de análisis proximal calculadas por Excel 2013..... | 97 |

| | |
|---|-----|
| Tabla # 31: Análisis de varianzas de índice de absorción de agua y aceite realizado con la herramienta de Excel 2013 | 97 |
| Tabla # 32: Varianzas de índice de absorción de agua y aceite calculadas por Excel 2013 | 98 |
| Tabla # 33: Análisis de varianzas de índices de absorción de harinas comerciales contra tronco de brócoli por EXCEL 2013 | 98 |
| Tabla # 34: Varianzas calculadas por Excel 2013 para índices de absorción de harinas comerciales y tronco de brócoli | 99 |
| Tabla # 35: Distribución de partícula de harinas de tronco de brócoli..... | 99 |
| Tabla # 36: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para distribución de partícula de harinas de tronco de brócoli | 99 |
| Tabla # 37: Prueba de preferencia por ordenamiento al 5% de significancia (en verde valores significantes) | 101 |
| Tabla # 38: Varianzas calculadas por Excel 2013 para prueba de preferencia | 102 |
| Tabla # 39: Análisis de varianza realizada para la prueba de preferencia..... | 102 |
| Tabla # 40: Varianzas calculadas por Excel 2013 para análisis de grosor | 102 |
| Tabla # 41: Análisis de varianzas calculado con Excel 2013 para grosor..... | 103 |
| Tabla # 42: Varianzas calculadas por Excel 2013 para análisis de dureza..... | 103 |
| Tabla # 43: Análisis de varianzas calculado con Excel 2013 para dureza | 103 |
| Tabla # 44: Varianzas calculadas por Excel 2013 para diámetros | 103 |
| Tabla # 45: Análisis de varianzas calculado con Excel 2013 para diámetros | 103 |

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo determinar la funcionalidad de la harina del tronco del brócoli como materia prima. Para Guatemala, el brócoli es un cultivo de gran importancia en su economía ya que se exporta, ingresando divisas al país dentro del grupo de productos no tradicionales. Asimismo de su cultivo, cosecha y preparación se derivan desperdicios del mismo. Entre ellos, el tronco por lo que con este trabajo se demostró su aprovechamiento.

Para ello, primero se realizó un escaldado para inhibir las enzimas que puedan afectar en la descomposición del tronco y luego se deshidrató por un horno de convección, liofilizador y microondas. Con las harinas obtenidas se realizaron análisis de: funcionalidad (índice de absorción de agua entre 5 -10ml/g; índice de absorción de aceite de entre 2-3ml/g), vitamina C (4-14mg/g), cantidad de polifenoles totales (575-859 μ g Equivalentes de catecol/g) y capacidad antioxidante (EC50: 9-26) para comparar el efecto de los distintos procesos. Se evaluaron los rendimientos y costos de estos procesos y se decidió utilizar la harina deshidratada por horno de convección para evaluar el secado, granulometría, densidad y modelar productos, ya que el rendimiento varía entre 2-5%.

Se llevó a cabo una comparación con la harina de trigo (en sus variaciones: suave, dura, y todo uso), arroz, maíz y yuca para ver los efectos en mezclas de harinas. Se comparó la harina de tronco de brócoli con respecto a la funcionalidad de las harinas mencionadas anteriormente, en donde se determinó que tiene una mayor capacidad de absorción de agua que las demás. También se procedió a realizar un análisis proximal, donde se determinó que tiene 18.15g/100g de proteína, 47.04g/100g de carbohidratos y 34.07g/100g de fibra dietética. Se estimó una vida de anaquel de aproximadamente 9 meses.

El producto modelado fueron nachos en los cuales se evaluó textura, sabor, olor, y preferencia. Se demostró que los nachos fueron satisfactorios pero se debe mejorar la textura de ellos. Se determinó que el uso de mezcla de tronco en forma de tronco triturado tiene posibilidades de ser estudiado a futuro.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo de tesis busca describir el desarrollo y caracterización de una harina a partir del tronco de brócoli, aprovechando el desperdicio que se le da a esta parte del brócoli en la industria exportadora de Guatemala.

En el segundo capítulo se exponen los antecedentes teóricos detrás del proyecto, donde resaltan las características nutricionales y físicas del brócoli y el tronco y procesos de deshidratado y liofilizado que se han realizado previamente.

En el tercer capítulo se justifica la importancia del proyecto y su valor para la industria alimentaria guatemalteca.

En el cuarto capítulo y quinto capítulo se encuentran los objetivos y la metodología que se llevó a cabo para poder concluir el proyecto.

En el sexto y séptimo capítulo se observan los datos obtenidos de los diferentes análisis y son evaluados, discutidos y comparados con otros estudios.

Finalmente en el octavo y noveno capítulo se resumen las conclusiones obtenidas y se recomiendan otras evaluaciones para dar seguimiento al proyecto.

II. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

A. BRÓCOLI

El brócoli (*Brassica oleracea*) es un vegetal que se cosecha en temporada fría principalmente. Es un miembro de la familia de los crucíferos, y está relacionado con otros vegetales como la coliflor, y las coles de Bruselas. (University of Kentucky, 2010)

Es originario del Mediterráneo Oriental y del cercano Oriente. (Basantes, 2009) Se ha cultivado por 2000 años. El brócoli puede rendir por un gran periodo de tiempo si se cultiva y cosecha adecuadamente. Como parte de la familia de las *Brassicaceae*, el brócoli es rico en vitamina C, vitamina A, B6, ácido fólico, fibra y cantidades pequeñas de calcio y hierro. (Colorado State University, 2008) También contiene fitonutrientes como clorofila y carotenoides. Se describe al brócoli como un vegetal que se puede ver en distintas variedades y colores. (Petersen, 2009)

Entre las variedades que existen a nivel mundial están:

- III. Legend: tamaño mediano, color verde azulado
- IV. Patriot: pequeño y verde azulado
- V. Aracadia: Pequeño y verde medio
- VI. Maratón: fino y verde azulado
- VII. Decathlon: medianamente pequeño y verde azulado.

(Linares, 2006)

El brócoli como todas las crucíferas posee un sabor característico debido a los glucosinolatos, específicamente el isotiocianato de alilo y butilo. También posee glucofanina, precursora del sulforafano y del indometil glucosinolato, los cuales son compuestos con propiedades anti cancerígenas y antimicrobianas. (Valenzuela, 2010)

B. COMPOSICIÓN FÍSICA Y QUÍMICA

Comúnmente se utiliza como alimento la cabeza donde se encuentra la flor y parte superior del tallo. La parte del tallo y de la raíz no es comúnmente consumida ya que se describe como una parte muy fibrosa. La composición nutricional de cada parte de la planta difiere debido a su papel en el desarrollo y crecimiento de la misma. (Petersen, 2009)

Ya que los floretes del brócoli son muy perecederos, su almacenamiento es por medio de refrigeración luego de la cosecha. Diversos estudios se han realizado para almacenarlos por otros medios, como: atmósferas modificadas, refrigeración y empaques, entre otros. (Fahley, 2003)

Los floretes del brócoli contienen derivados de flavonol e hidroxycinnamoil que son compuestos fenólicos con capacidad antioxidante considerable (Podsdek, 2005). Los principales glucósidos de flavonol presentes en los floretes o flor del brócoli son quercetina y kaempferol 3-0-soforosido, seguido por isoquercitrina, kaempferol 3-0-glucosido y kaempferol diglucosido. También predominan ácidos hidroxicinamoiles como el ácido neoclorogenico. (Podsdek, 2005)

El tallo del brócoli tiene un diámetro de 2 a 6 cm, y una altura o largo de 20 a 50 cm. (Basantes, 2009) Se ha encontrado que sus tallos a diferencia de los floretes contienen altos niveles de nitratos y azúcares reductores. (Petersen, 2009)

En el estudio realizado por Valenzuela se observa las propiedades del tallo y tronco del brócoli:

Cuadro No. 1: Propiedades químicas y fisicoquímicas de la harina de tallo y tronco del brócoli

| Parte del vegetal | Índice de absorción de agua ml/g | Índice de sólidos solubles mg/ml | Densidad (g/ml) | Índice de absorción de aceite (ml/g) |
|-------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------------------------------------|
| Tallo | 11.54 | 0.06 | 0.53 | 2.32 |
| Tronco | 6.08 | 0.20 | 0.47 | 2.83 |

(Valenzuela, 2010)

Valenzuela determinó que la harina del tronco contenía un alto contenido proteico, de fibra dietética y de carbohidratos. (Valenzuela, 2010)

Cuadro No. 2: Análisis proximal de harina del tronco de brócoli realizado por Valenzuela

| Análisis | g/100g Base Seca |
|-----------------|-------------------------|
| Humedad | 4.31 |
| Proteína | 16.55 |
| Grasa | 1.68 |
| Ceniza | 14.93 |
| Fibra dietética | 21.20 |
| Carbohidratos | 41.34 |

(Valenzuela, 2010)

El contenido de nutrientes del brócoli crudo está dado por el siguiente cuadro:

Cuadro No. 3: Composición nutricional de brócoli crudo en g/100 g en base húmeda.

| Nutrientes | Composición del nutriente por 100 g |
|----------------------|--|
| Agua (g) | 90.69 |
| Energía (kcal) | 28 |
| Energía (kJ) | 117 |
| Proteína (Nx5.95)(g) | 2.98 |
| Lípidos Totales (g) | 0.35 |
| Carbohidratos (g) | 5.24 |
| Fibra dietética (g) | 3.0 |
| Ceniza (g) | 0.92 |
| Azúcares totales (g) | - |
| Calcio (mg) | 48 |
| Hierro (mg) | 0.88 |
| Magnesio (mg) | 25 |
| Fósforo (mg) | 66 |
| Potasio (mg) | 325 |
| Sodio (mg) | 27 |
| Zinc (mg) | 0.4 |

Continuación Cuadro No 3.: Composición nutricional del brócoli crudo en g/100g en base húmeda.

| Nutrientes | Composición del nutriente por 100 g |
|---------------------------|--|
| Cobre (mg) | 0.045 |
| Manganeso (mg) | 0.229 |
| Selenio (µg) | 3.0 |
| Ácido ascórbico (mg) | 93.2 |
| Tiamina (mg) | 0.065 |
| Riboflavina (mg) | 0.119 |
| Niacina (mg) | 0.638 |
| Ácido pantoténico (mg) | 0.535 |
| Vitamina B6 (mg) | 0.159 |
| Folato (µg) | 71 |
| Vitamina B12 (µg) | 0.00 |
| Vitamina A (IU) | 1542 |
| Vitamina A, RE (µg) | 154 |
| Vitamina D (IU) | - |
| Vitamina E, α-TE (mg) | 1.66 |
| Grasa saturadas total (g) | 0.054 |
| Grasa monoinsaturada (g) | 0.024 |
| Grasa poliinsaturada(g) | 0.167 |
| Colesterol (mg) | 00 |
| Fitosteroles (mg) | 24 |
| B-caroteno (µg) | 779 |
| Luteína/zeasantina (µg) | 2445 |
| Licopeno (µg) | 0 |
| %rechazo total | 39 |

(Fahley, 2003)

El brócoli contiene una gran cantidad de aminoácidos. El siguiente cuadro muestra los aminoácidos del brócoli crudo.s

Cuadro No. 4 Contenido de aminoácidos en el brócoli

| Aminoácido | mg/gN |
|--------------|-------|
| Triptófano | 67 |
| Treonina | 234 |
| Isoleucina | 270 |
| Leucina | 342 |
| Lisina | 316 |
| Metionina | 88 |
| Fenilalanina | 256 |
| Valina | 305 |
| Arginina | 350 |
| Histidina | 113 |

(FAO, 2013)

Un problema que se da en el brócoli es un hueco interno en el tronco y color café en los floretes. Esto se reconoce generalmente como deficiencia de boro en el suelo donde fue plantado, aunque también afecta la salinidad del suelo, espaciamiento y falta de otros minerales como calcio, magnesio, manganeso, etc. El hueco se colorea café o negro y puede existir ablandamiento por crecimiento bacteriano. El Departamento de Agricultura de Estados Unidos, recomienda una preparación del suelo con 3 a 4 lbs. de boro en polvo para evitarlo. (USDA, 1994)

Se recomienda también que se considere como dañado si los huecos llegan a más de 3 pulgadas adentro del tronco, y se descarte. También se considera daño serio si la abertura inicial es mayor a una pulgada y tiene coloración oscura. (USDA, 2008)

C. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

Los antioxidantes que forman parte de la dieta, tal como la vitamina C, compuestos fenólicos y la vitamina E, contribuyen a las líneas de defensa contra el estrés oxidativo; contienen propiedades que pueden prevenir enfermedades como: el cáncer, cardiovasculares o diabetes. Los vegetales que se encuentran en la familia de *Brassica* contienen una actividad antioxidante lipídica y soluble en agua considerable. Se considera que el brócoli

tiene una cantidad de ácido ascórbico entre 34 y 156 mg por 100 gramos de porción comestible. (Podeseck, 2005)

Además del ácido ascórbico y el ácido dehydroascórbico, se considera que el brócoli y los demás *Brassica* contienen ascorbigenes que se dan luego de una reacción entre el ácido ascórbico y productos residuales de los glucosinolatos. (Podeseck, 2005)

Los compuestos fenólicos en general poseen actividades biológicas, la más importante es la antioxidantes, por su efecto capilar protector e inhibición de tumores. Esto se debe a sus propiedades de donadores de electrones, el número y posición de los compuestos del grupo hidroxilo. (Podeseck, 2005)

Se ha encontrado que flavonoides conjugados se encuentran en el brócoli fresco, mientras que luego de ser procesado, se encuentran aglicones. El proceso que propicia la formación de estos aglicones es el de extractos por calor y ácido. (Podeseck, 2005)

Los carotenoides, como los carotenos y xantofilas, proporcionan pigmentos amarillos, anaranjados y rojos, conociéndoseles a la mayoría como precursores de la vitamina A. Se ha encontrado que un contenido bajo de β -carotenos en la sangre incrementa el riesgo de cáncer y enfermedades cardiovasculares, además de infartos. (Podeseck, 2005)

El contenido de carotenoides en el brócoli varía según el siguiente cuadro:

Cuadro No. 5: Cantidad de carotenos en brócoli

| Compuesto | α -caroteno | B-caroteno | Luteína y zeaxantina |
|-------------------------------|--------------------|------------|----------------------|
| mg/100g de porción comestible | 0.001-0.07 | 0.37-1.92 | 0.78-3.50 |

(Podeseck, 2005)

La vitamina E es un compuesto además de los carotenoides que pertenece al grupo de antioxidantes solubles en lípidos. La actividad biológica de la vitamina E se encuentra en los tocoferoles, tocotrienoles y especialmente en el α -tocoferol. La actividad antioxidante se debe principalmente a la donación del átomo de hidrógeno en donde se forma el radical

tocopherol. La vitamina E es ideal, ya que contiene efectos protectores contra enfermedades como la cardiopatía coronaria ya que inhibe la oxidación del LDL. El brócoli contiene 0.82mg sobre 100 g de tocoferoles y tocotrienoles. Es por esta cantidad que se le considera como una de las mejores fuentes de antioxidantes solubles en lípidos. (Podsek, 2005)

La vitamina C se considera el indicador de la calidad en el procesamiento de alimentos en materia de antioxidantes, debido a su alto grado de solubilidad en agua y su baja estabilidad durante el tratamiento térmico. El brócoli, durante los procesos térmicos como el blanqueado, pierde entre un 50 y 51% de vitamina C en los floretes y entre un 54 y 55% en los tallos. En tratamientos térmicos, como el uso de horno microondas o de olla a presión, se pierde un 38.6% de vitamina C. Los compuestos fenólicos se pierden entre un 12% y 58% y los carotenoides se han reportado de 23% de pérdida hasta un 100%. (Podsek, 2005)

Se ha encontrado que el brócoli tiene la capacidad de acumular selenio como Se-metil selenocisteína, un derivado de aminoácido que se ha relacionado con la prevención contra el cáncer y que exhibe un alto grado de efectividad en relación con las sales inorgánicas de selenio y otros compuestos orgánicos que contienen selenio. El selenio también proporciona actividad antioxidante, gracias al hecho de que este elemento se encuentra en el sitio activo, en forma de selenocisteína, de las enzimas responsables de proteger las células de daño por oxidación. (Mahn *et al.*2012)

D. PRODUCCIÓN NACIONAL

En Guatemala, el rendimiento por hectárea es de 20 a 25 toneladas a una temperatura de 15°C a 18°C. Se produce durante todo el año, siendo la mejor época los meses de mayo a octubre. (Linares, 2006)

Guatemala cuenta con 9,699 fincas, lo que equivale 4,059 manzanas que producen 1,061,396 quintales. (Linares, 2006)

De acuerdo con el IV Censo Nacional Agropecuario, el 91.7% del área cosechada a nivel nacional se encuentra concentrada en 6 departamentos. Estos departamentos en donde existe una mayor producción de Brócoli, según el MAGA para el año 2011, son:

- Chimaltenango 57.2%
- Huehuetenango 10.4%
- Jalapa 7.6%
- Sololá 6.9%
- Baja Verapaz 5.3%
- Guatemala 4.3% (MAGA, 2011)

En el año 2006, ya existían 8 empresas que exportaban el brócoli como producto procesado. (Linares, 2006)

El producto tiene una demanda alta en Europa, en países como el Reino Unido y Alemania. Su consumo ha aumentado un 920% en los últimos 30 años. Siguiendo esta tendencia se espera que el consumo aumentará más en el futuro. En Europa, se consume como producto fresco en: ensaladas, sopas, tortas y como industrial para elaboración de encurtidos. El consumo en este tipo requiere la cadena de frío o un procesamiento tipo IQF. (Linares, 2006)

Según el MAGA, el costo de producción del cultivo del brócoli para el año 2011 fue de Q. 23,759.30/ha. En la siguiente tabla se puede observar el comportamiento que ha tenido el producto en el área, producción y rendimiento de su cultivo. (MAGA, 2011)

Cuadro No. 6 Producción y rendimiento de cosecha de brócoli por año

| Año | Área cosechada (Ha) | Producción (tonelada métrica) | Rendimiento (tonelada/ hectárea) |
|------------|----------------------------|--|---|
| 2005 | 4027.1 | 52,447.19 | 13.02 |
| 2006 | 4553.5 | 59755.04 | 13.12 |
| 2007 | 6193.25 | 83181.03 | 13.43 |
| 2008 | 5880.00 | 88215.07 | 15.00 |
| 2009 | 6300.00 | 83806.13 | 13.30 |
| 2010 | 6510.00 | 85230.42 | 13.09 |

(MAGA, 2011)

Las exportaciones e importaciones de brócoli se pueden observar en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 7: Importaciones y exportaciones del brócoli por año

| Año | Importación | | exportación | |
|------------|--------------------|-----------|--------------------|--------------|
| | TM | US\$ | TM | US\$ |
| 2003 | 13.06 | 7953.00 | 34306.87 | 21843137.00 |
| 2004 | 0.00 | 0.00 | 43,058.45 | 28586396.00 |
| 2005 | 0.15 | 148 | 35115.88 | 22166984.00 |
| 2006 | 130.55 | 143521.00 | 44877.46 | 25906191.00 |
| 2007 | 22.39 | 4482.00 | 62335.86 | 39328307.00 |
| 2008 | 0.72 | 4522.00 | 70688.44 | 52872619.00 |
| 2009 | 0.00 | 0.00 | 37070.09 | 28095898.00 |
| 2010 | 49.11 | 29,953 | 32070.09 | 28095898.00 |
| Totales | 215.98 | 190579.00 | 360100.16 | 253458783.00 |

(MAGA, 2011)

El costo promedio de brócoli mediano por caja, de 20 a 24 unidades, varía desde Q26.97 a Q42.93 para los años de 2010 y 2011. (MAGA, 2011)

E. FUNCIONALIDAD

Se ha incorporado partículas de brócoli deshidratado o polvo de brócoli en almidón para ver sus efectos en la masa de fideos. Se encontró que debido a su alto contenido de hidrocoloides, la masa tuvo una mayor cantidad de agua absorción y de hinchazón lo que logró un mayor tamaño, hasta 7.6 veces. Los hidrocoloides presentes naturalmente en el brócoli, responsables de tal comportamiento son en su mayoría gomas, como la goma guar, hidroxipropil metilcelulosa y goma xantán entre otras, siendo esta última la que más absorbe. Se obtienen diferentes tipos de propiedades en textura entre más partículas de brócoli se mezclan con el almidón. (Silva, *et al* 2012)

En otro estudio también se utilizaron fracciones de partículas de brócoli deshidratado en una masa de almidón. Se encontró que el uso de este polvo incrementa la elasticidad transversal. Se determinó también que el aumento de volumen en la hinchazón de la masa no es una dispersión de partículas en una matriz elástica sino que materia celular, con partículas del vegetal hinchadas unidas por amilosa. (Silva, *et al* 2012)

Se ha investigado el efecto de las condiciones de almacenamiento en la composición del muro celular en floretes del brócoli. Se ha encontrado que el secado por convección del brócoli, a una temperatura entre 50°C y 65°C, mantuvo el contenido de glucosinolatos, sin embargo durante la rehidratación los glucosinolatos fueron hidrolizados. Se ha encontrado también que la síntesis de sulforafano es favorecida por el secado por calor, promoviendo las propiedades saludables del brócoli. La temperatura tiene un efecto negativo en el contenido de polifenoles totales y el flujo del aire aumenta la actividad antioxidante en brócoli deshidratado. También se encontró que a una temperatura de 60°C, un flujo de aire de 4m/s y 1.5 cm de diámetro de partícula, se obtiene el contenido máximo de actividad antioxidante y un aumento del 70% en la capacidad de reducción en los radicales libres en comparación con el brócoli fresco. (Mahn *et al.* 2012)

Otro estudio, muestra la optimización de un proceso para obtener brócoli deshidratado de los floretes o flores del brócoli por medio de secado en frío o liofilización y un tratamiento previo térmico de blanqueado. Se encontró que las condiciones adecuadas

para el secado en frío eran a -20°C , presión atmosférica y el uso de IR. Se logró mantener el contenido de polifenoles en un 18%. (Mahn *et al.* 2012).

Uno de los más potentes anticancerígenos alimenticio es el sulforafano, un isotiocianato del brócoli. Se forma cuando se da la hidrólisis por parte de la mirosinasa y el glucosinolato y el tejido del brócoli es triturado o disminuido. (Matusheski *et al.* 2004)

En otro estudio, se analizó el polvo de brotes de brócoli para obtener componentes bio-activos para tratar diabetes tipo 2. Se analizaron a 72 pacientes en 4 semanas y se encontró que se reduce los perfiles lipídicos del LDL, disminuyendo así el riesgo para enfermedades cardiovasculares. (Bahadoran *et al.* 2012)

Se ha determinado la actividad antioxidante del extracto de polvo de brócoli y se ha evaluado en productos como nuggets de carne de cabra. Se utilizó el brócoli debido a que la actividad antioxidante del mismo podría servir para preservar productos cárnicos. Se encontró que el uso de un nivel de 0.1% a 0.2% del polvo de brócoli en este tipo de producto cárnico provocó un aumento en el contenido de compuestos fenólicos actuando como antioxidantes naturales. (Banerjee *et al.* 2012)

F. DESHIDRATACIÓN DEL BRÓCOLI

La deshidratación es una tecnología para aumentar la vida de anaquel y preservar a los alimentos. Consiste en eliminar la totalidad del agua libre del alimento, esto permite disminuir las reacciones químicas, enzimáticas y microbiológicas propias de los alimentos, inhibiendo cualquier posible crecimiento microbiano. También se reduce significativamente el peso y volumen de los alimentos, esto constituye un ahorro importante en el almacenamiento, transporte y costos. Se han realizado estudios de deshidratación del brócoli en donde se ha logrado un porcentaje final de humedad de 5.6% en secadores de gabinete por 4 horas y a una temperatura de 65°C . La coliflor es también de la familia *Brassica*, por lo que es muy similar al brócoli. Se han hecho estudios con la deshidratación de la coliflor utilizando 50°C , 60°C , y 75°C en un deshidratador de lecho fluidizado. Estas temperaturas

tuvieron un efecto sobre la velocidad de secado disminuyendo la humedad en un 10% en 30 minutos. (Maldonado, R. Pacheco-Delahaye. E. 2003)

En otro estudio se realizaron harinas de los floretes del brócoli y coliflor en donde se compararon los resultados respecto a humedad. Se utilizó las temperaturas de 60°C, 70°C y 80°C para el deshidratado. En la tabla siguiente se muestra los resultados del brócoli:

Cuadro No. 8: Humedad y temperatura de producto fresco y deshidratado

| Humedad inicial (%) producto fresco | Humedad final (%) | | |
|--|-------------------|------|------|
| | 60°C | 70°C | 80°C |
| 92.11 | 6.49 | 5.33 | 4.30 |

(Maldonado, R. Pacheco-Delahaye. E. 2003)

En la deshidratación realizada por Valenzuela en 2010, se obtuvieron resultados favorables. Se realizó el proceso después de haber escaldado, con un horno deshidratador por convección a una temperatura de 70°C. Se determinó que esta temperatura era la indicada para evitar la destrucción del brócoli por quemado, además de evitar el sabor y olor indeseado. Los pedazos utilizados fueron de 2x2 cm² para tener mayor área de contacto y acelerar la deshidratación. Se determinó que el tiempo necesario para deshidratar el brócoli fue de 7 a 14 horas. Se tomaron 7 horas para la deshidratación de las flores o floretes, 10 horas para el tallo y 14 para el tronco. Se determinó que el tronco del brócoli fue el de mayor irregularidad y se considera que es debido a la unión firme de sus tejidos. Se obtuvo una actividad de agua final de 0.53. (Valenzuela, 2010)

La liofilización es un proceso de deshidratación en donde se elimina el agua por la sublimación; el alimento se somete a condiciones de temperatura inferiores a las de su punto triple. Esto permite que los nutrientes del alimento se conserven y no haya pérdida de ellos. Este proceso tiene un costo alto de energía, sin embargo el tiempo es mucho menor al proceso de secado normal. (ITESCAM, 2013)

En un estudio realizado en Lisboa, se demostró que la mirosinasa, la enzima responsable de los cambios favorables en los glucosinolatos, se mantiene en cantidades considerables luego de un proceso de liofilización y procesos de escaldado previos en los floretes y tallos del brócoli. Se determinó también que las muestras con mayor cantidad de humedad y las muestras con menor cantidad de humedad tuvieron las concentraciones más altas de mirosinasa luego del proceso de liofilización, mientras que las muestras con humedad intermedia tuvieron concentraciones mucho menores. (Pinto, 2010)

El secado por microondas se debe a las ondas electromagnéticas que causan fricción entre las moléculas dándose así una transferencia de calor. Esta transferencia de calor no es uniforme adentro de los alimentos. El secado por microondas tiende a ser más costoso, entre mayor humedad contenga el alimento (Rocca, 2010)

El deshidratado por microondas tiene como ventaja que deshidrata a temperaturas menores a 130°F, y en tiempo relativamente más rápido a comparación de otros métodos de secado. (Vega-Mercado, *et al.* 2001)

Se ha deshidratado espinaca en un horno microondas convencional entre 290 a 430 segundos, con una potencia de 1000 a 500W. Se determinó que la pérdida de ácido ascórbico fue mucho menor a potencias mayores a 500W. También se determinó que el color, brillo y características sensoriales se mantuvieron mejor a una potencia de 750W. El nivel de humedad perdido fue mayor a 120-150s, 8.21g de 50g de muestra. (Ozkan, *et al.* 2005)

G. ESCALDADO

El escaldado es la operación unitaria que se realiza antes del congelado, enlatado o secado en la que vegetales y frutas son calentadas lo suficiente para poder inactivar las enzimas, modificar la textura, preservar el color, aroma y valor nutricional. Los procesos de escaldado más comunes son los de agua caliente y de vapor. El brócoli por lo general es escaldado por medio de vapor. (Reyes *et al.* 2005)

Se han realizado estudios de escaldado para mejorar la calidad de flores deshidratadas de brócoli. Se utilizaron pre tratamientos como escaldado convencional en agua a una temperatura de 99°C y un blanqueado por etapas (escaldado lento a temperatura baja seguido por temperatura rápida) utilizando la temperatura de 50°C, 55°C, 60°C, 65°C y 70°C. La optimización del blanqueado o escaldado es algo que se persigue siempre, ya que el efecto del escaldado tradicional es la pérdida de textura irreversible. Esta pérdida es debido a la pectin-metil-esterasa. Se determinó que el blanqueado por etapas, a temperaturas de 60°C y 65°C, otorgaba un producto firme y conservaba una mayor cantidad de clorofila en el producto. (Sanjuán *et al.* 2001)

También se han realizado estudios sobre el escaldado y la inactivación de la enzima que degrada la vitamina C en el brócoli, ácido ascórbico oxidasa. Sin embargo se encontró que a una temperatura de entre 92°C y 96°C por 60, 120 y 150 segundos los floretes y el tallo del brócoli pierden concentraciones altas de vitamina C, como 41 y 42% en agua y 19% cuando se utiliza HTST o alta temperatura por poco tiempo en el proceso de escaldado del brócoli. (Wambui, *et al.* 2009)

En el estudio de Valenzuela, se determinó que se obtiene un color verde claro y brillante, un ablandamiento de tejidos y eliminación de aire en el brócoli debido al escaldado por 5 minutos y 97°C. Se menciona que no son importante las pérdidas en textura y la pérdida de glucosinatos ya que luego se realiza la deshidratación para obtener la harina. (Valenzuela, 2010)

H. ANÁLISIS SENSORIAL

La evaluación sensorial es una disciplina que se utiliza para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a las características de alimentos y otras sustancias que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído. En el campo de alimentos es el análisis de los mismos a través de los sentidos. Es una herramienta que sirve para determinar la calidad de los alimentos. Permite evaluar el control del proceso de elaboración,

la vigilancia del producto, la influencia del almacenamiento, y la aceptación del producto por el consumidor. Se evalúan características como sabor, textura, preferencia, aceptación, color y aroma. (Hernández, 2005)

Existen diferentes tipos de pruebas sensoriales las cuales se dividen en 3 grupos principales:

- Pruebas discriminativas
 - Pruebas de diferenciación
 - Pruebas de sensibilidad

- Pruebas descriptivas
 - Escalas de atributos
 - Análisis descriptivos

- Pruebas afectivas
 - Prueba de preferencia
 - Prueba de satisfacción
 - Prueba de aceptación

En todas las pruebas se deben utilizar métodos estadísticos. En la prueba de aceptación y de preferencia se utiliza la prueba de varianza ANOVA. (Hernández, 2005)

La prueba de aceptación permite medir el grado de preferencia, la actitud del panelista hacia el producto alimenticio. Se utiliza una escala hedónica variando frases como me gusta, me gusta mucho, me disgusta, me disgusta mucho. (Hernández, 2005)

En el estudio de Valenzuela se realizó un análisis sensorial del producto deshidratado en donde se elaboraron productos para el consumidor como galletas. Estas galletas llevaron 8% harina de tronco y 92% harina de trigo; el porcentaje bajo se debe a que en estudios anteriores se obtuvo un sabor a azufre muy fuerte. (Valenzuela, 2010)

Se utilizó una prueba de aceptación con escala hedónica con 15 panelistas por producto desarrollado. Se utilizó una escala desde me disgusta mucho hasta me gusta mucho. Se tuvo una preferencia por las galletas con harina de tronco debido al color y textura, sin embargo el olor tuvo un desagrado notable. (Valenzuela, 2010)

I. HARINAS COMPUESTAS

Las harinas compuestas son una necesidad y una solución para los países que no producen trigo como el caso de Guatemala. Una harina compuesta es una mezcla elaborada para producir alimentos a base de trigo como pan, pastas y galletas según la FAO. Se preparan a base de otros cereales que no son trigo y otras fuentes de origen vegetal y pueden o no contener harina de trigo. Hay dos clases principales de harinas compuestas: la harina diluida de trigo y la harina que no contiene trigo y está hecha por harina de tubérculos y una proteína suplementaria. En la harina de trigo diluida, la harina de trigo se sustituye en un 40% y puede estar complementada por otros componentes. El segundo tipo de harina compuesta es el que contiene harina de tubérculo y una proteína suplementaria, como soya en una proporción de 4 a 1. (Elías 2012)

En 1975, el INCAP extendió el concepto de la harina compuesta para las harinas que se desarrollen para la preparación de alimentos de alto valor nutritivo a base de harina de cereales, leguminosa, oleaginosos y otros. (Elías, 2012)

Los suplementos para alimentos populares a base de otros cereales como las tortillas, arepas, atoles y sopas han sido diseñados para mejorar el valor nutritivo de alimentos que se consumen ampliamente en la población. Las materias primas que son utilizadas como suplementos deben cumplir con las siguientes características:

- Suplir los nutrientes deficientes en el alimento tradicional
- Ser capaz de lograr esto al ser adicionado en cantidades relativamente pequeñas
- No alterar significativamente las propiedades físicas y sensoriales del alimento original (Elías, 2012)

Se han desarrollado tecnologías como la fortificación y suplementación. Estas se pueden utilizar en alimentos y bebidas populares de los países de Centroamérica, ya que tienen diferentes grados de viscosidad y son preparadas a partir de diferentes materiales que en la mayoría de los casos contienen alto contenido de carbohidratos, pero con una composición química y calidad proteínica pobre. Entre este tipo de productos populares los avances más significativos han sido el suplemento para la tortilla de maíz y la tecnología de suplementación para la galleta nutricionalmente mejorada. (Elías, 2012)

Otros sustitutos investigados y de gran importancia también, son los de leche y extensores de alimentos de origen animal. Estos se implementaron por medio de programas a partir de 1960 y 1970, con el objetivo de utilizar las proteínas de alta calidad de los vegetales para poder sustituir la proteína animal. Se han desarrollado formulaciones de esta naturaleza y se han sometido a pruebas biológicas de calidad nutricional, usando animales experimentales y al hombre. De estos productos cabe resaltar los sustitutos de leche. Estas formulaciones están enriquecidas con vitaminas y minerales, contienen de 18 a 25% de proteína con una calidad proteínica que varía de 0 a 90% del valor de la caseína. (Elías, 2012)

Para elaborar este tipo de productos se debe tener las siguientes consideraciones:

- Materia prima: Debe ser local para minimizar el costo
- Evaluar la calidad: Por medio de procedimientos tecnológicos, nutricionales, toxicológicos y sanitarios.
- Procesamiento y comercialización: Tener procedimientos generales para el sistema de producción con respecto a disponibilidad y características de materia prima, adición de suplementos y sabores. Para la comercialización es importante poner atención a la presentación, precio, estabilidad, envase, distribución y propaganda. (Elías, 2012)

J. HARINA DE TRIGO, ARROZ Y MAÍZ

Los cereales como el trigo provienen del grano entero y se les conoce como integrales. Poseen una amplia gama de nutrientes como fibra, antioxidantes fenólicos, proteínas y almidones. El trigo tiene como principal función la panificación, en donde por lo general se involucra con una fermentación que produce un esponjamiento de la masa. Para la fabricación del pan se mezcla la harina de trigo con agua, azúcar, mantequilla, sal, levadura y otros ingredientes y aditivos. Se prepara la masa, se deja reposar para que los azúcares se fermenten para producir anhídrido carbónico que aumentará el volumen, al final se cuece en un horno. (Badui S., 2006)

La capacidad de esponjamiento que tiene la harina de trigo se debe principalmente a las proteínas, aunque también influye la absorción de agua y de lípidos por parte de almidón y de las grasas. Las harinas de trigo contienen de 10 a 12% de proteína, la mayor parte de éstas son las llamadas glutelinas, el resto, aproximadamente 15%, son albúminas, y globulinas. (Badui S., 2006)

Las glutelinas del trigo reciben el nombre de gluteninas y las prolaminas el de gliadinas, ambos tipos de proteína suman el 85% del total. Es gracias a éstas que se forma el gluten con la ayuda de lípidos y agua. El gluten es el responsable de la cohesividad y viscoelasticidad de la masa del pan. El gluten contiene una composición de aminoácidos de 6% ionizables, 45% polares, y 49% apolares. Se caracteriza por el alto contenido de prolina (14%) y de glutamina (37%) con respecto al total de aminoácidos. La alta concentración de aminoácidos ionizables y su alto porcentaje de hidrofóbicos lo hace poco soluble a pH neutro. Es rico en residuos de cisteína, lo que permite formar enlaces disulfuro intra e intermoleculares. Durante el amasado, manual o mecánico, las gliadinas y glutenina se desnaturalizan y establecen los dichos enlaces disulfuro, y con la ayuda de interacciones hidrofóbica e hidrofílicas permite que los polímeros se orienten longitudinalmente. El resultado de todo este proceso es la formación de redes elásticas y cohesivas necesarias para el esponjamiento, ya que es en estas redes es en donde el CO₂ formado durante la fermentación se atrapa. (Badui S., 2006)

Las albúminas y las globulinas del trigo desempeñan un papel importante en la formación de la costra del pan, ya que favorecen las reacciones de oscurecimiento no enzimático como la reacción de Maillard con la ayuda de los azúcares reductores. Con esta reacción se logra los colores y aromas típicos del pan. Las gluteninas y gliadinas contienen una cantidad baja de lisina; la lisina está en un 85% en las albúminas y globulinas. (Badui S., 2006)

Cuadro No. 9: Aminoácidos de harina de trigo y grano de trigo

| Aminoácido | Grano (g/100g) | Harina (g/100g) |
|-------------------|-----------------------|------------------------|
| Alanina | 2.76-3.43 | 2.28-2.98 |
| Amida | 13.40-15.22 | 14.41-17.10 |
| Arginina | 5.34-8.98 | 6.63-8.44 |
| Acido aspártico | 3.02-3.49 | 2.51-3.04 |
| Cistina | - | 1.59-1.77 |
| Acido glutámico | 12.95-16.08 | 15.80-17.77 |
| Glicina | 3.92-4.59 | 3.36-4.10 |
| Histidina | 3.18-3.66 | 2.84-3.63 |
| Isoleucina | 2.05-2.14 | 2.13-2.45 |
| Leucina | 3.79-3.90 | 3.93-4.34 |
| Lisina | 2.68-3.82 | 2.30-2.90 |
| Metionina | - | 0.87-1.17 |
| Fenilalanina | 1.79-2.24 | 1.87-2.22 |
| Prolina | - | 8.16-8.78 |
| Serina | 2.96-3.23 | 2.87-3.11 |
| Treonina | 1.74-1.92 | 1.60-1.92 |
| Tirosina | 1.10-1.23 | 1.12-1.50 |
| Valina | 2.56-2.99 | 2.34-2.80 |

(Simmons, D., 1961)

Las proteínas del gluten contienen una respuesta auto-inmune en ciertas personas que causa la conocida enfermedad celíaca. Esta enfermedad se caracteriza por una mala absorción

intestinal que acarrea problemas nutricionales. La fracción proteica responsable de esto es la gliadina, ya que provoca atrofia de las vellosidades del intestino delgado. Esto a su vez provoca que los nutrientes como las vitaminas no se absorban adecuadamente dando lugar a desnutrición y avitaminosis. La enfermedad celíaca es hereditaria y sus efectos pueden ser atenuados al modificar las proteínas del gluten. (Badui S., 2006)

Cuadro No. 10: Comparación en composición entre harinas de trigo, amaranto, arroz, alforfón, maíz, y soya (base seca)

| Harina | Humedad % | Proteína % | Grasa % | Almidón % | Cenizas % |
|-------------------|-----------|------------|---------|-----------|-----------|
| Trigo | 13.10 | 11.40 | 0.75 | 71.30 | 0.47 |
| Trigo integral | 13.60 | 13.00 | 2.34 | 66.80 | 1.14 |
| Amaranto | 6.14 | 16.30 | 5.80 | 64.30 | 2.40 |
| Arroz | 9.09 | 8.04 | 0.33 | 81.50 | 0.26 |
| Maíz | 10.02 | 6.74 | 2.45 | 79.20 | 0.68 |
| Soya | 7.50 | 47.60 | 6.90 | 6.08 | 6.60 |
| Alforfón | 10.10 | 8.34 | 1.95 | 68.20 | 0.98 |
| Alforfón integral | 9.76 | 13.40 | 3.08 | 67.40 | 1.97 |

(Dapcevic, *et al.*, 2011)

Debido a la enfermedad celíaca, se ha buscado realizar mezclas entre harinas que logren asemejar la harina de trigo. Se determinó que una mezcla entre harina de alforfón y arroz es la más semejante reologicamente a la de trigo. Esto se debe a que las características de las proteínas como la absorción de agua, estabilidad y estiramiento mecánico, fueron similares a las del trigo. (Dapcevic, *et al.*, 2011)

En un estudio se determinó que la masa de pan realizada con harina de trigo tiene 12.1% de humedad, una estabilidad según farinografo de 10.5 UB, y una absorción de agua de 33.85%. Esto se produjo de una masa realizada con harina de trigo mesh 60 por método directo. (Pacheco, E. Testa, G., 2005)

El arroz es un alimento básico, predominante para 17 países de Asia y el Pacífico, 9 de América del Norte y el sur y 8 países de África, según la FAO. Proporciona el 20% de suministro de energía alimentaria, le sigue el 19 % el trigo y el 15% el maíz. Es una fuente rica en energía, tiamina, riboflavina y niacina y fibra alimenticia. (FAO, 2004)

Las proteínas del arroz se localizan en distintas partes del grano, incluyendo el endospermo y la cascarilla. (Badui, 2006) Los aminoácidos predominantes en el arroz son el ácido glutámico, aspártico y la lisina en menor cantidad. Sin embargo el arroz no proporciona todos los nutrientes necesarios, para reforzar esto; siempre se ha utilizado el arroz con otros alimentos de origen animal, leguminosas como el frijol y verduras. (FAO, 2004)

Se han realizado productos de panificación sin gluten con el objetivo de sustituir al germen de trigo, usando harina de arroz. En este tipo de productos siempre se observa que la calidad organoléptica no es la que el consumidor espera. Se ha encontrado que la harina de arroz tiene importantes propiedades como ausencia de fracciones proteicas que afectan a los enfermos celíacos, bajos niveles de sodio, alta proporción de almidón diferible. Existe un amplio rango de tamaños de partículas de harinas comerciales de arroz, desde harinas con granulometría comprendida entre 210 μ y 800 μ hasta harinas con valores menores de 210 μ . Se ha determinado que el tamaño de partícula, obtenido por la molienda de los granos de arroz, es una variable que influye en los parámetros de la calidad del pan sin gluten como el volumen específico. Se ha determinado también, que existe un rango de contenido de amilosa insoluble y un valor mínimo de absorción de agua, en donde el pan de arroz se obtiene con una calidad aceptable. (Torres *et al.* 1999.)

El maíz representa el principal alimento para gran parte de la población, sobre todo en poblaciones con escasos recursos económicos y se consume de formas muy variadas como tortillas, tamales, nachos, atol, etc. El maíz es deficiente en lisina y en triptófano y la relación de concentraciones de leucina/isoleucina es muy elevada, estos factores, aunados a su estructura terciaria rígida, hacen que su calidad nutricional sea reducida. (Badui S., 2006)

El maíz suele someterse al proceso térmico-alkalino fuerte conocido como nixtamalización. Este proceso ocasiona ciertos cambios como la gelatinización del almidón, hidrólisis de la hemicelulosa en el pericarpio y destrucción de algunos aminoácidos y vitaminas. A pesar del severo tratamiento existen varios beneficios como la mejora en la nutrición del maíz, debido al incremento en la biodisponibilidad de la lisina de la glutelina, también del triptófano y niacina. (Badui S., 2006)

Se ha propuesto la fortificación de las tortillas con harina de soya lo que incrementa la utilización biológica de las tortillas elaboradas. (Badui S., 2006)

K. SNACKS

El consumo de snacks como nachos y chips es preferido por la población, y se ha enfatizado en utilizar otro tipo de legumbre y vegetales en los últimos años en lugar de papa. En los últimos años se ha buscado utilizar las snacks como matrices alimentarias para nutrientes que ayuden a reducir riesgo de enfermedades crónicas. En un estudio realizado con camote, ejote, mango Tommy Atkins, y papa azul (híbrido de papa), se determinó que con el uso de una freidora al vacío a temperatura de 120-130°C, se logra obtener un producto con 18% (ejotes), 19%(mango) y 51%(camote) de carotenoides en snacks. También se determinó que la concentración de antocianinas se mantiene en una concentración de 60% con este mismo método de freído en snacks de papa azul. (Da Silva, *et al.*, 2008)

L. ENMASCARAR SABORES Y OLORES

El brócoli contiene ciertos aromas y sabores muy fuertes, que se pueden considerar indeseados por el consumidor. En la actualidad ha surgido el interés por enmascarar, encapsular y proteger ciertos componentes bioactivos como aromas, proteínas, aditivos, etc. Para esto se han utilizado las coacervaciones. Estas son formaciones complejas en donde existe interacción electrostática que causa una separación de un biopolímero. Se controla las composiciones del biopolímero y las soluciones para atrapar los componentes bioactivos. En un estudio se utilizó aislado de proteína de suero para realizar coacervaciones complejas

para aislar pectina de remolacha. Se demostró que puede ser utilizado también con laccasa para el diseño de alimentos con ingredientes bioactivos encapsulados. (Chen, B. *et al.* 2012)

M. ANÁLISIS DE VIDA DE ANAQUEL

La vida de anaquel se describe como el tiempo luego del empaque durante el cual el producto es preservado con las características de calidad, fisicoquímicas, microbiológicas o sensoriales establecidas por el proveedor. Los métodos para evaluar la vida de anaquel se basan en la cinética química de la velocidad de reacción y los efectos como temperatura, presión, humedad, gases de atmósfera y luz tienen sobre ella. (Ocampo, 2003)

Entre los factores que influyen en la vida de anaquel de un alimento están: la formulación, el procesamiento, el empaque y las condiciones de almacenamiento. En la formulación, se debe tener en cuenta la actividad de agua como índice principal, ya que entre mayor actividad de agua se tiene, mayor posibilidad de deterioro microbiano puede existir. En el procesamiento, se debe tener en cuenta la disminución de condiciones desfavorables o deterioradoras indeseables. Durante el empaque y las condiciones de almacenamiento se debe tomar en cuenta parámetros como: la humedad relativa, presión, esfuerzos mecánicos, luz y temperatura. (Chica, B. Osorio, S. 2003)

Los métodos acelerados para determinar la durabilidad son útiles, para disminuir el tiempo dedicado a ensayos de estimación, cuando se determina la vida de anaquel de productos no perecederos. Estos métodos, se basan en someter el producto a condiciones de almacenamiento en donde se puedan acelerar las reacciones de deterioro o condiciones de abuso que son temperaturas, presiones parciales de oxígeno y contenido de humedad altos. (Ocampo, 2003)

Se almacena el producto terminado bajo condiciones de abuso, se examina periódicamente hasta el final de su vida, y con estos resultados se puede proyectar la vida de anaquel bajo condiciones de distribución verdadera. (Chica, B. Osorio, S. 2003)

La estimación de vida de anaquel se realiza con métodos estadísticos o con modelos matemáticos. El Modelo de Arrhenius es el más utilizado. Se ha demostrado que este modelo es seguido por las reacciones de pérdida de calidad de alimentos con el tiempo. La siguiente ecuación muestra la relación mencionada:

(Ocampo, 2003)

$$\frac{dA}{dt} = -k * A^n$$

Donde A es un factor físico, químico, microbiológico o sensorial de calidad, n es el orden de reacción, k es la constante de velocidad que representa la pendiente de variación del factor A, que puede ser positiva o negativa dependiendo si existe ganancia o pérdida de A. Se puede tratar a las reacciones de deterioro de alimentos como elementales de orden 0, 1 o 2 y por lo tanto el tratamiento cinético se hace por medio de linealizaciones y gráficos. Esta gráfica es usualmente de tiempos y K y se grafica contra 1/T, luego se utiliza una regresión lineal para poder extrapolar el tiempo estimado. (Chica, B. Osorio, S. 2003)

III. JUSTIFICACIÓN

El brócoli es un vegetal que proviene de la familia de las Brassicas. Se dice que esta familia de vegetales se desarrolló a partir de la col silvestre o *Brassica oleraceae* hace 400 años. También se conoce como “calabrese” o brote de brócoli. Las partes de la planta que más se utilizan y consumen son las inflorescencias, que consisten de floretes y tallos menores. Tiene un alto valor nutricional y medicinal debido a su contenido de vitamina C, antioxidantes, glucosilanos, proteínas, carbohidratos y minerales. (Fahley, 2003)

En varios estudios realizados en harinas de brócoli se ha encontrado que el valor nutricional de los componentes mencionados anteriormente se ha mantenido en cantidades considerables luego de diversos procesos. Se ha puesto mucho interés en los floretes y en los brotes y se han descartado el tronco y la raíz. No se ha realizado un estudio específicamente sobre el tronco de la planta luego de un proceso de deshidratación.

La producción nacional de brócoli provee de muchos ingresos y empleos. Para el año 2009, su cultivo había provisto de 1, 206,000 empleos y un total de Q23,759.30 por hectárea. (MAGA, 2011). La exportación del producto genera bastantes ingresos pero también desperdicios ya que el uso que se le da en los países importadores es solamente el común mencionado antes, los floretes. El 15% de todas las exportaciones se desperdicia, sin contar el del tallo, hojas, y raíces. (MAGA, 2011)

En todo el país de Guatemala existe la desnutrición crónica, siendo el área de mayor cantidad, Huehuetenango con un 64.39%, Totonicapán 73.24%, Sololá 73.17% y Quiché con un 64.79% de desnutridos incluyendo niños en edad escolar. El censo, hecho por el INE (Instituto Nacional de Estadística de Guatemala), demostró que desde el año 2003 al 2011 se ha crecido de 12 millones a 14,713,763. (INE, 2011) (UNICEF, 2007)

Se han realizado estudios en donde los componentes del brócoli como los glucosinolatos, la vitamina C, y antioxidantes, han resultado beneficiosos para reducir enfermedades crónicas cardiovasculares, cáncer y disminución y control del colesterol. Esto se debe al poder de disminución de la degeneración oxidativa. (Bahadoran *et al.* 2012)

El fin de este trabajo es poder desarrollar una harina que pueda sustituir o fortificar a la de trigo ya que cada vez la población y las enfermedades crónicas aumenta y los alimentos escasean. También se quiere aprovechar el desperdicio que se da durante el procesamiento de brócoli y dar una nueva opción, no solamente en el aspecto nutricional, sino también para el comercio y la economía nacional.

IV. OBJETIVOS

A. General

1. Caracterizar una harina elaborada a partir del tronco de Brócoli (*Brassica Oleraceae* var *Italica*).



B. Específicos

1. Desarrollar el método de secado para la obtención de la harina del tronco del brócoli fresco y determinar rendimientos
2. Conocer la composición química y fisicoquímica de la harina obtenida y comparar su funcionalidad con la harina de trigo y otras harinas comerciales
3. Evaluar la capacidad antioxidante, polifenoles totales y vitamina C en la harina.
4. Desarrollar productos a partir de la harina usando el concepto de harinas compuestas.

V. METODOLOGÍA

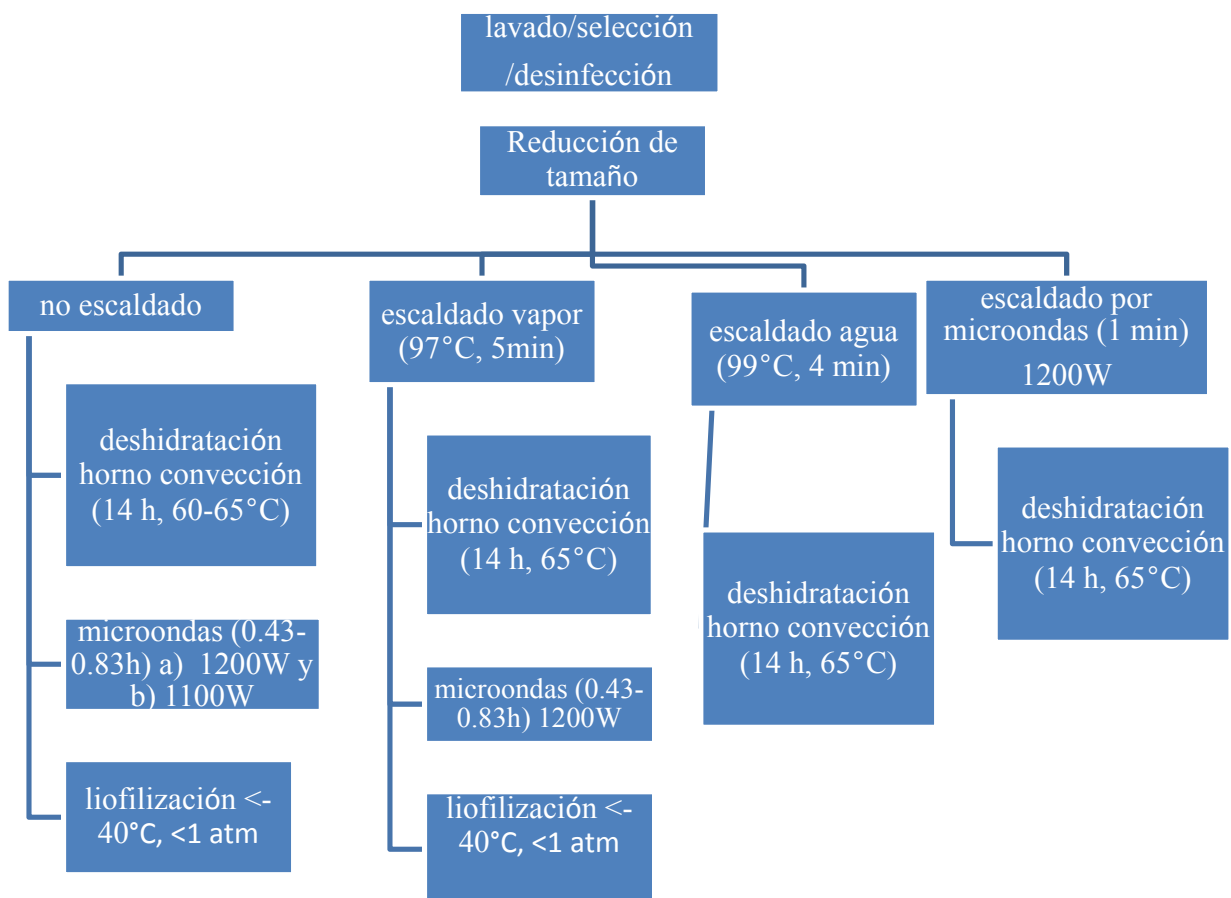
1. Obtención de muestra: se proporcionaron más de 200 libras por parte de la empresa procesadora de brócoli ALCOSA en San José Pinula, Guatemala; donde el brócoli era proveniente de Patzún, Chimaltenango; y de El Tejar, Chimaltenango fue proveído el otro tipo de brócoli. Durante todo el estudio al tronco proveniente de ALCOSA se le denomina “de ALCOSA” y al otro tipo se le denomina “de Chimaltenango”.

Cuadro No. 11: Muestras de Brócoli tipo *Marathon*

| Nombre | ALCOSA | Chimaltenango |
|-------------------------|---|--|
| Lugar de cultivo | Patzún, Chimaltenango | El Tejar, Chimaltenango |
| Imagen |  |  |

2. Almacenamiento: En frío 4°C en el cuarto frío de Laboratorio de Operaciones Unitarias de la UVG.

Diagrama 1: Obtención de la harina



3. Obtención de harina: Según el diagrama anterior, se realizó un lavado, selección y desinfección con 20 ppm cloro para eliminar las impurezas y suciedades de la muestra por 20 minutos, luego se redujo el tamaño con una licuadora industrial, y se realizaron 8 tipos de tratamiento de deshidratado/escaldado como se describe; fueron 17 en total debido al uso de 2 tipos de brócoli distintos y se evaluó la potencia del microondas. Para comprobar el escaldado se realizó la prueba de peroxidasa. Se pesó luego de cada operación.
4. Molienda: Se utilizó un ciclón de mesh 100.

Cuadro No. 12: Iniciales para nombrar las harinas.

| | ALCOSA | CHIMALTENANGO |
|--|---------------|----------------------|
| No escaldado deshidratado por horno | NE | ONE |
| Escaldado por agua deshidratado por horno | EA | OEA |
| Escaldado por vapor deshidratado por horno | EV | OEV |
| Escaldado por microondas deshidratado por horno | EM | OEM |
| No escaldado deshidratado por microondas a 1200W | NEMA | ONEM |
| No escaldado deshidratado por microondas a 1100W | NEMB | - |
| Escaldado por vapor deshidratado por microondas | EVM | OEVM |
| No escaldado liofilizado | NEL | ONEL |
| Escaldado por vapor liofilizado | EVL | OEVL |

I. Fase 1: Evaluación de procesos de deshidratado y escaldado.

Se evaluaron las harinas obtenidas por diferente método a través de los siguientes parámetros, y se escogió un proceso.

1. Vitamina C: Método HPLC modificado de *Volden J. et al. 2008*. Se utilizó una longitud de onda de 234nm y una extracción con agua; sin necesidad de filtrar por columnas C-18. Se evaluaron todos los métodos de deshidratación y escaldado.
2. Polifenoles totales: Se determinó por medio del método Folin-Ciocalteu; según *Barnerjee et al. 2012*. Se realizó una curva patrón con diferentes concentraciones de catecol, y el contenido total de fenoles se calcula con equivalentes de catecol en $\mu\text{g/g}$ de harina. Se evaluaron: diferentes tipos de harina procesados por liofilización; deshidratación por microondas y por horno de convección. Del escaldado se evaluó el escaldado por agua y no escaldado para ser deshidratado por convección.
3. Capacidad antioxidante: Actividad de Radicales Libres (Radical Scavenging Activity): *DPPH*; según *Barnerjee et al. 2012* y *Brand-Williams W, et al. 1995*. Se realizaron varias concentraciones con los diferentes tipos de harina procesados por liofilización; deshidratación por microondas y por horno de convección. Del escaldado se evaluó el escaldado por agua y no escaldado para ser deshidratado por convección.
4. Índices de absorción de agua y aceite según método *Viena L. et al. 1993*. Se evaluaron todos los procesos de deshidratado y escaldado. Se comparó la harina deshidratada por horno de convección y escaldado por agua, proveniente de ALCOSA con harina de trigo dura, suave, todo uso, maíz, yuca y arroz.

II. Fase 2: Rendimientos, costos, granulometría, curva de secado, densidad

1. Rendimientos: Se evaluaron y calcularon los rendimientos por cada proceso; se decidió trabajar con el proceso más viable: deshidratado por horno de convección y escaldado por agua. Además se determinó el porcentaje de tronco sobre todo el brócoli, el porcentaje de tronco sobre el desperdicio de las empresas, entre otros.
2. Costos: Se estimaron costos sobre el proceso de deshidratado por horno de convección, liofilización, y deshidratado por microondas utilizando el voltaje.

3. Granulometría: se tamizaron las harinas producidas a partir por los 2 diferentes tipos de tronco de brócoli y se compararon con varias harinas comerciales: trigo duro, suave, todo uso, y maíz.
4. Curva de secado: se realizó una curva de secado para la deshidratación de los 2 diferentes tipos de brócoli y se estimaron flujos máxicos (kg/h).
5. Densidad: se determinó la densidad de las 2 harinas de 2 tipos de tronco.

III. Fase 3: Evaluación en la harina de tronco de brócoli obtenida por el proceso escogido

Se evaluó:

1. Análisis químicos: Se utilizaron los métodos AOAC, para analizar proteínas, humedad, fibra dietética, cenizas, grasa, y carbohidratos por diferencia:
 - a. Humedad, método 925.10, horno de aire
 - b. Cenizas, método 923.03, método directo
 - c. Grasa, método 9222.06, extracto etéreo
 - d. Proteína, método 920.87, Kjeldahl
 - e. Fibra dietética, método 985.29, enzimático gravimétrico
 - f. Carbohidratos por diferencia
2. Vida de anaquel de la harina: Se calculó con la ecuación de Arrhenius y extrapolación por regresión lineal, utilizando los parámetros de olor, sabor, apariencia y actividad de agua. La harina fue almacenada en bolsas de polietileno.
3. Modelado de productos: Se elaboraron nachos con 6 formulaciones distintas usando como base harina de trigo y maíz y usando diferentes niveles (0,8, 20,32, 35%) de harina de tronco de brócoli. Se evaluó también el uso de tronco triturado escaldado en los nachos.
4. Textura: Se evaluó textura: dureza (penetrometro), ancho y diámetro.
5. Análisis sensorial: Se realizó una prueba de preferencia por ordenamiento y de preferencia pareada.
6. Se realizó un análisis estadístico de varianzas de un factor (ANOVA) y de correlación.

VI. RESULTADOS

Tabla # 1: Concentración de vitamina C en harinas obtenidas por diferentes procesos de secado

La tabla #1 muestra los resultados de la vitamina C en las harinas obtenidas por diferentes procesos de secado, en donde se observa que el escaldado al vapor y luego liofilizado tuvo una concentración mayor en el tronco de ALCOSA, mientras que en el de Chimaltenango el escaldado por microondas deshidratado por horno fue el de mayor concentración.

| Tipo de tratamiento | ALCOSA (Patzún, Chimaltenango) | Chimaltenango |
|--|--|--|
| | ($\bar{x} \pm S$) mg/g concentración de vitamina C | ($\bar{x} \pm S$) mg/g concentración de vitamina C |
| No escaldado deshidratado por horno | 4.811 \pm 0.897 | 13.34 \pm 3.002 |
| Escaldado por agua deshidratado por horno | 3.798 \pm 0.557 | 8.27 \pm 0.362 |
| Escaldado por vapor deshidratado por horno | 2.08 \pm 0.658 | 9.30 \pm 0.257 |
| Escaldado por microondas deshidratado por horno | 10.71 \pm 0.567 | 14.35 \pm 2.943 |
| No escaldado deshidratado por microondas a 1200W | 8.41 \pm 1.108 | 10.31 \pm 0.260 |
| No escaldado deshidratado por microondas a 1100W | 8.70 \pm 1.037 | - |
| Escaldado por vapor deshidratado por microondas | 8.73 \pm 0.645 | 13.01 \pm 2.09 |
| No escaldado liofilizado | 7.10 \pm 0.363 | 9.94 \pm 0.131 |
| Escaldado por vapor liofilizado | 10.84 \pm 0.266 | 9.817 \pm 0.462 |

*se realizó un análisis de varianza que se observa en los anexos Tabla # 11.

Tabla # 2: Polifenoles totales; equivalentes de catecol en muestras de harinas obtenidas por diferentes procesos

La tabla #2 muestra los resultados de la determinación de polifenoles totales en donde se observa que existe una mayor concentración en el proceso de deshidratado por horno de convección para el tronco de ALCOSA y para el de Chimaltenango el proceso de deshidratación por microondas.

| muestra | ($\bar{x} \pm s$) μ geqCatecol/gharina | |
|---|--|-------------------|
| | ALCOSA (Patzún, Chimaltenango) | CHIMALTENANGO |
| Liofilizada | 624.47 \pm 0.01 | 607.75 \pm 0.01 |
| deshidratada por horno convección | 650.43 \pm 0.01 | 575.16 \pm 0.01 |
| deshidratada por microondas | 620.08 \pm 0.01 | 859.65 \pm 0.01 |
| escaldada deshidratada por horno convección | 641.28 \pm 0.01 | |

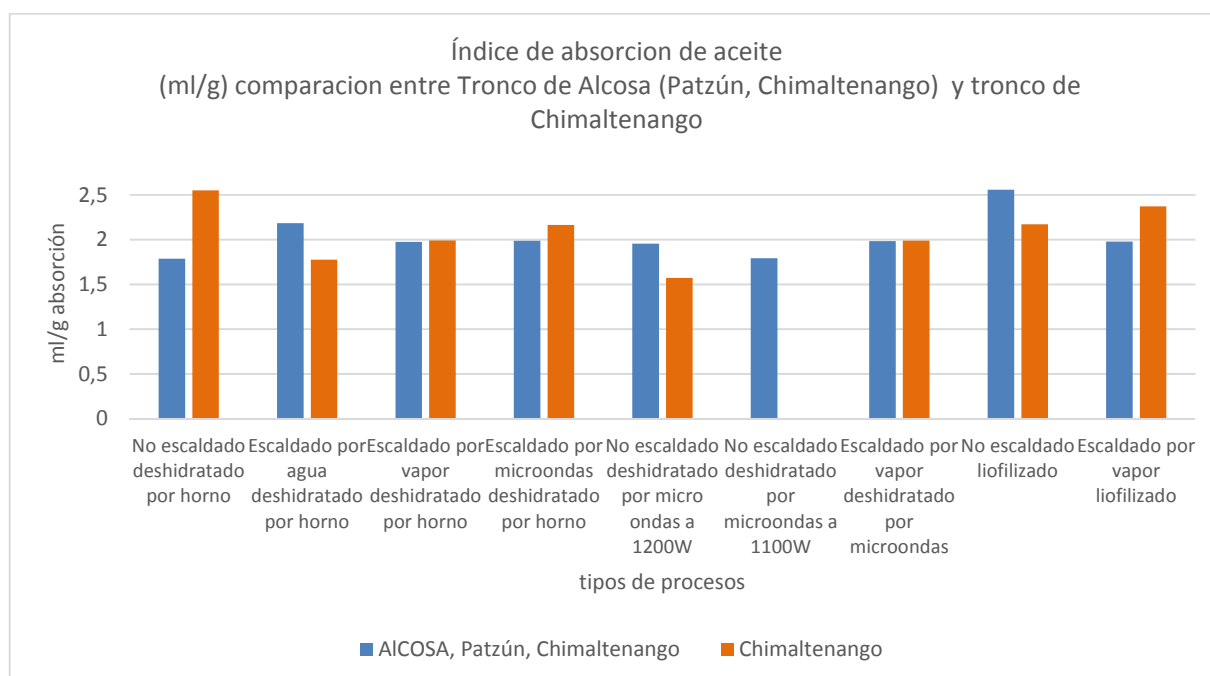
Tabla # 3: Capacidad antioxidante realizada por método de DPPH

En la tabla #3 se encuentran los resultados para la capacidad antioxidante por el método de DPPH, en donde se observa que la muestra liofilizada tuvo un mayor EC50 y %IAR para el tronco de Chimaltenango y para el de ALCOSA también.

| muestra | ALCOSA (Patzún, Chimaltenango) | | CHIMALTENANGO | |
|---|--------------------------------|--|---------------|---|
| | %IAR | EC50($\bar{x} \pm S$) g harina/gDPPH | %IAR | EC50 ($\bar{x} \pm S$) g harina/gDPPH |
| Liofilizada | 7.45 | 13.42 ± 0.01 | 3.76 | 26.61 ± 0.01 |
| Deshidratada por horno convección | 10.10 | 9.90 ± 0.01 | 9.31 | 10.74 ± 0.01 |
| Deshidratada por microondas | 9.66 | 10.35 ± 0.02 | 7.45 | 13.42 ± 0.01 |
| Escaldada deshidratada por horno convección | 17.91 | 5.58 ± 0.01 | | |

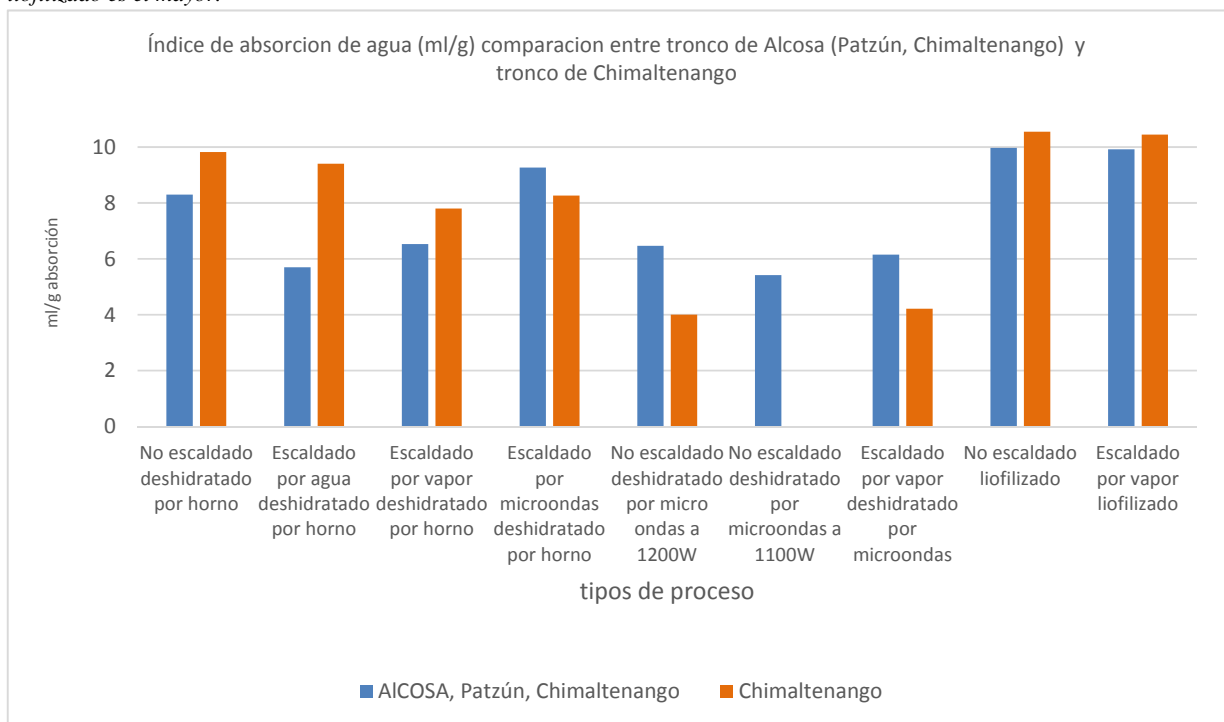
Gráfica # 1: Índice de absorción de aceite de harinas obtenidas por los diferentes procesos

En la gráfica #1 se observa los índices de absorción de aceite de las harinas obtenidas por diferentes procesos de secado, en donde la no escaldada deshidratada por horno tiene mayor índice de absorción por parte del tronco de Chimaltenango y el de mayor índice de ALCOSA es el de no escaldado y luego liofilizado.



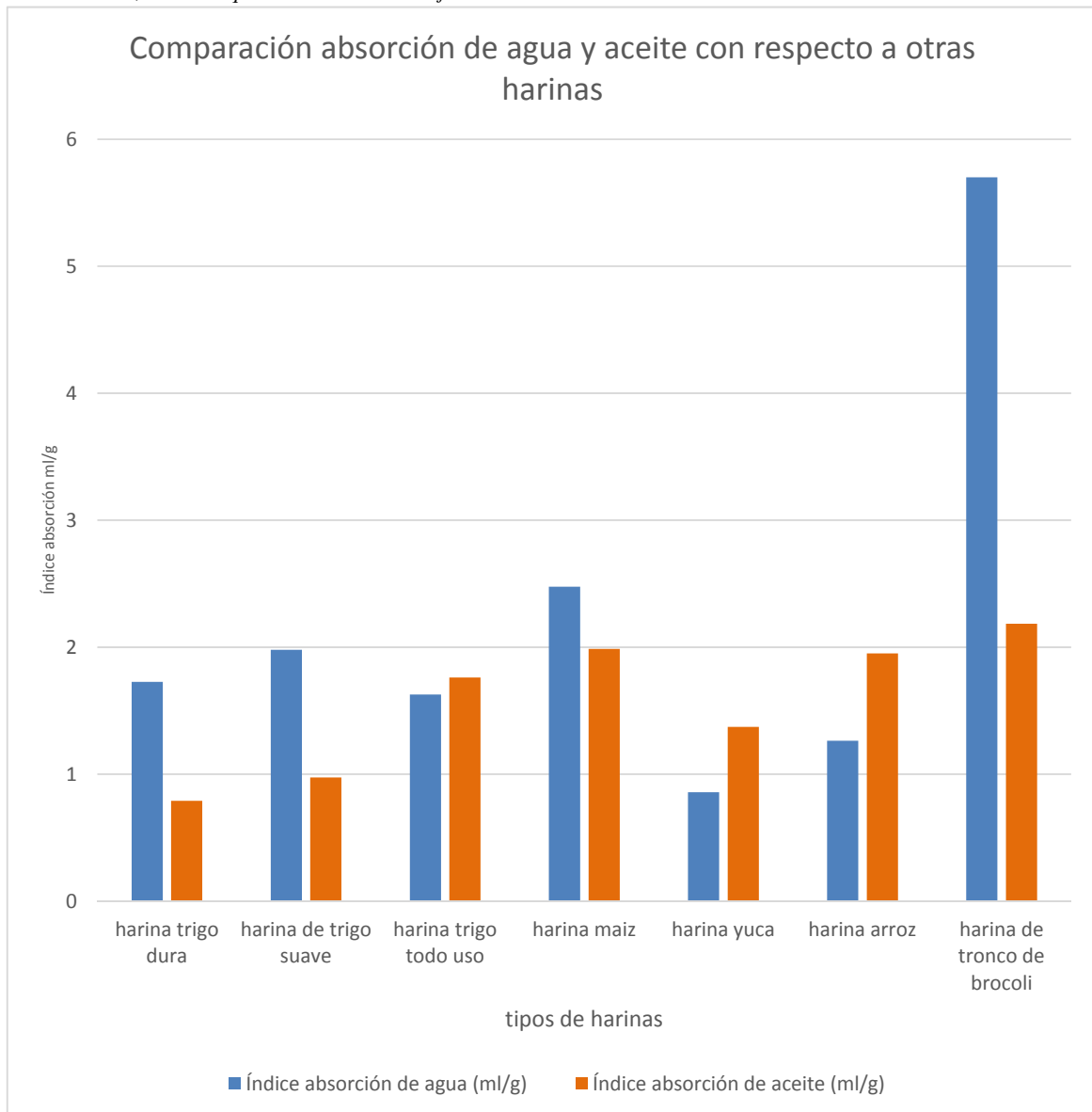
Gráfica # 2: Índice de absorción de agua de harinas obtenidas por los diferentes procesos

En la gráfica #2 se muestra el índice de absorción de agua de las harinas obtenidas por diferentes procesos de secado, en donde se observa que por parte del tronco de Chimaltenango como el de ALCOSA, el proceso de no escaldado y luego liofilizado es el mayor.



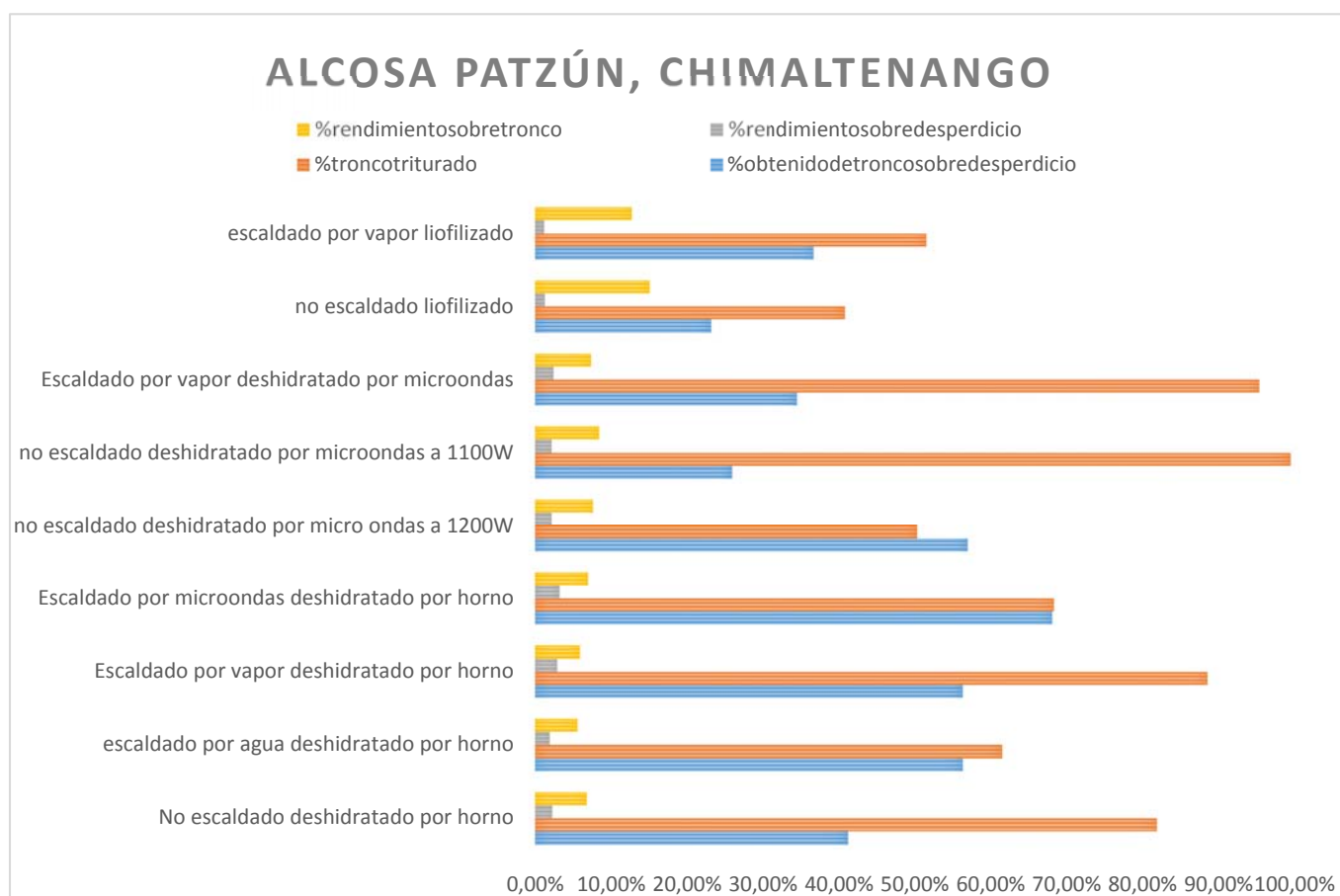
Gráfica # 3: Índices de absorción de agua y aceite de diferentes tipos de harina en comparación con harina de tronco de brócoli

En la gráfica #3 se muestran los índices de absorción de agua y aceite de varias harinas en comparación con la de tronco de brócoli por el proceso escogido, en donde se observa que tiene un mayor índice de absorción de agua que las demás harinas, mientras que el de aceite es semejante.



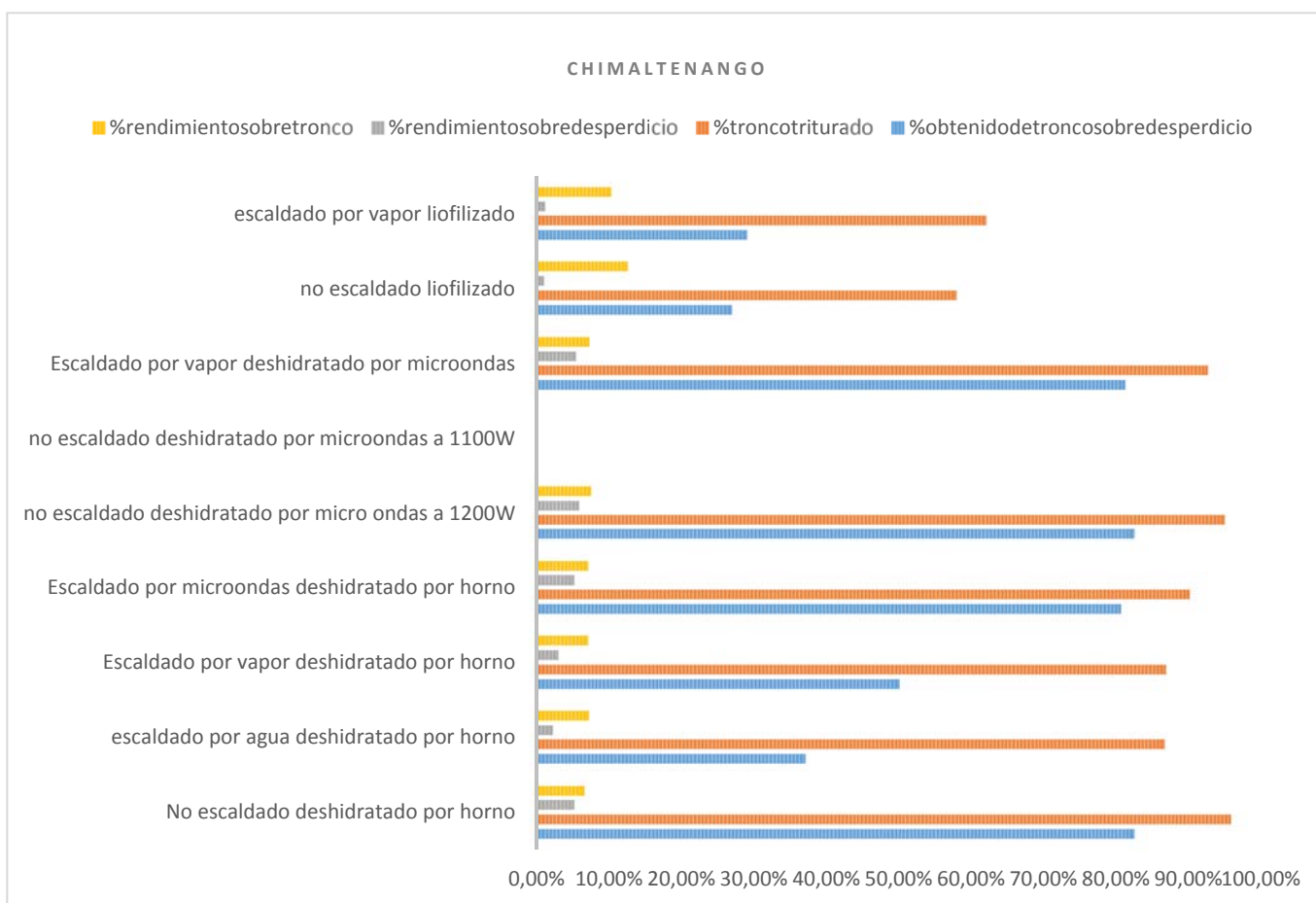
Gráfica # 4: Porcentajes de rendimiento obtenidos por cada proceso en la harina producida a partir del tronco de ALCOSA

En la gráfica se puede observar los siguientes términos: %rendimiento sobre desperdicio equivale al porcentaje final obtenido del proceso desde el desperdicio de la empresa hasta la harina terminada; %rendimiento sobre tronco equivale al porcentaje de harina obtenida sobre el tronco triturado; %troncotriturado: equivale al porcentaje de tronco triturado obtenido sobre el desperdicio de la empresa; %obtenido de tronco sobre desperdicio equivale a la cantidad de tronco utilizable sobre el desperdicio de la empresa, debido a factores como partes con deficiencia de boro.



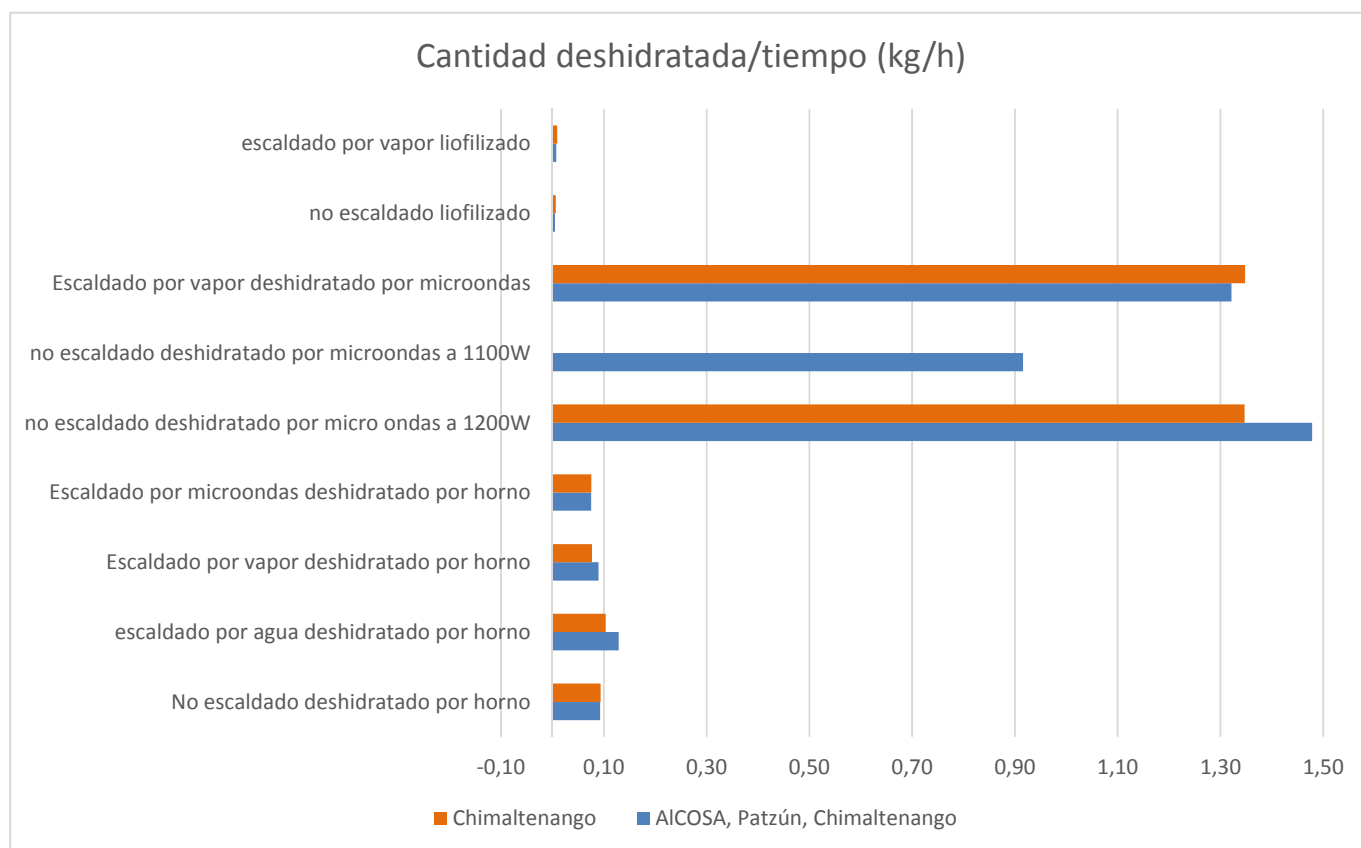
Gráfica # 5: Porcentajes de rendimiento obtenidos por cada proceso en la harina producida a partir del tronco de Chimaltenango.

En la gráfica se puede observar los siguientes términos: %rendimiento sobre desperdicio equivale al porcentaje final obtenido del proceso desde el desperdicio de la empresa hasta la harina terminada; %rendimiento sobre tronco equivale al porcentaje de harina obtenida sobre el tronco triturado.; %tronco triturado: equivale al porcentaje de tronco triturado obtenido sobre el desperdicio de la empresa; %obtenido de tronco sobre desperdicio equivale a la cantidad de tronco utilizable sobre el desperdicio de la empresa, debido a factores como partes con deficiencia de boro.



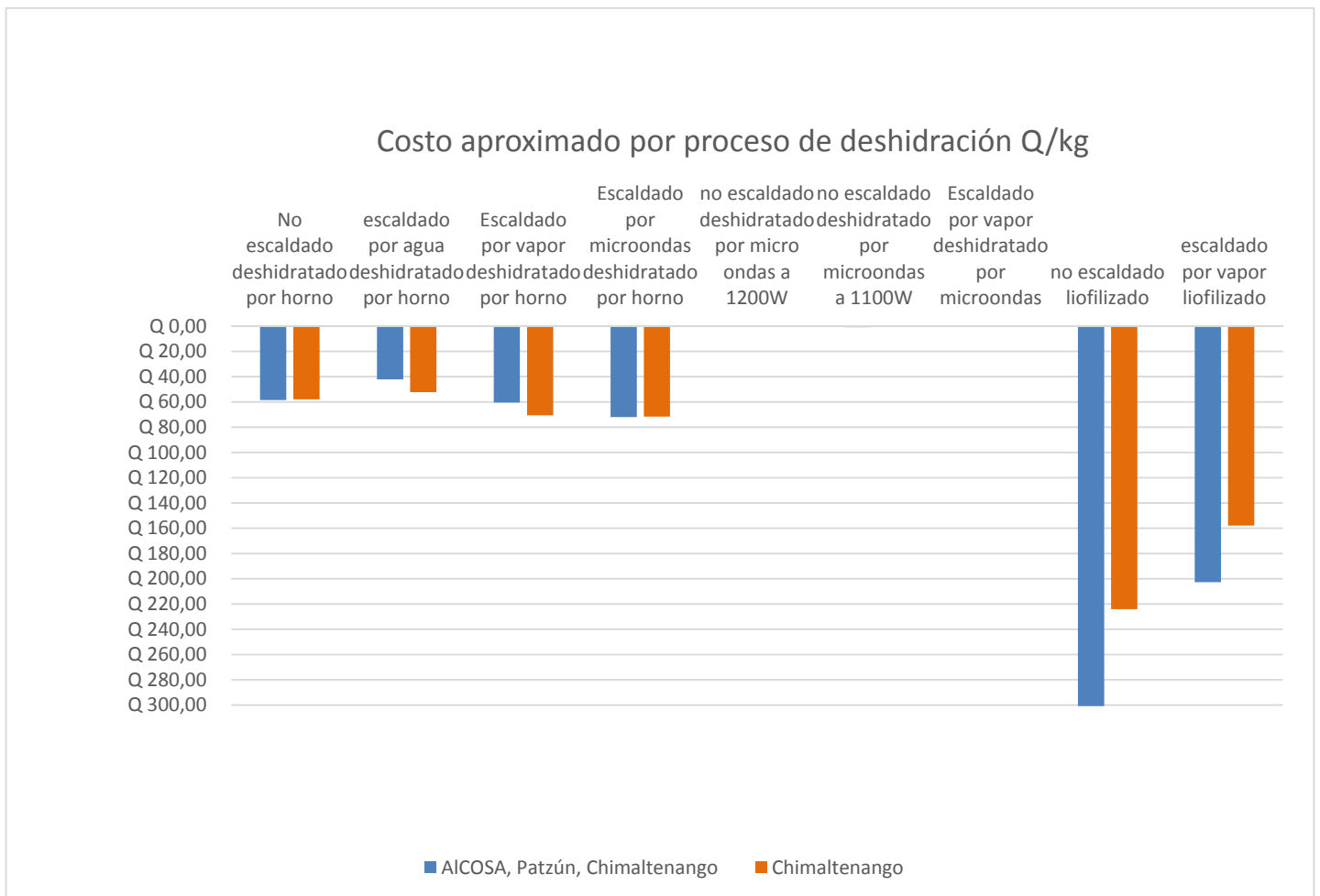
Gráfica # 6: Cantidad de tronco triturado deshidratado/lioofilizado por tiempo de proceso

En la gráfica se muestra la cantidad de tronco deshidratado por cada proceso sobre el tiempo, se observa que el liofilizado se deshidrata mucho menor al proceso de deshidratación por microondas.



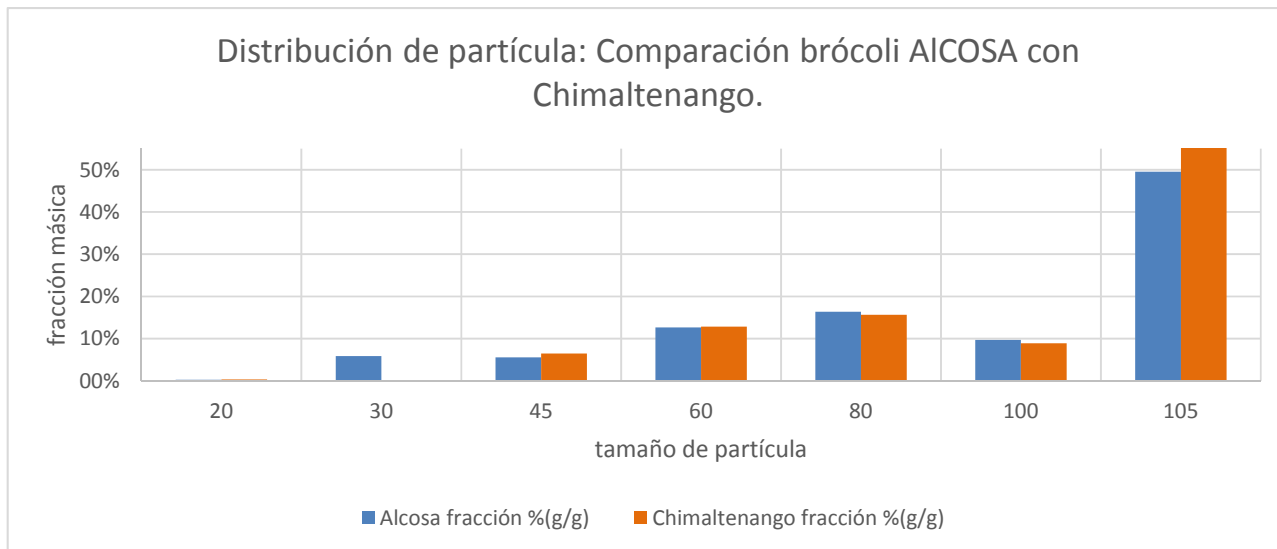
Gráfica # 7: Costos aproximados de procesos

En la gráfica se muestra el costo aproximado por peso del tronco utilizado, según cada proceso de deshidratado, se observa que el más costoso es el proceso de liofilización mientras que el menos costoso es el de microondas.



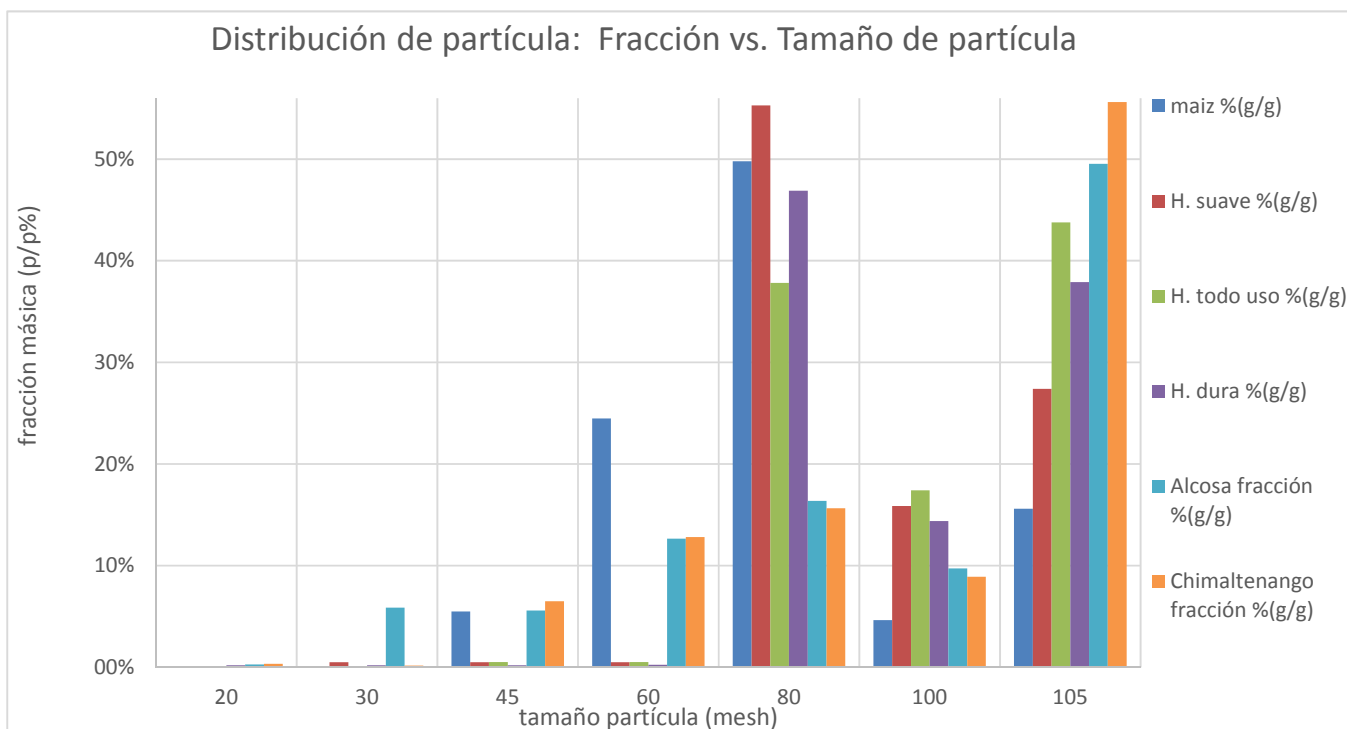
Gráfica # 8: Distribución de partícula entre harinas de tronco de brócoli de 2 tipos diferentes

En esta gráfica se muestra la distribución de partícula de las harinas obtenidas a partir de 2 troncos distintos, se observa que ambas tienen en mayoría un tamaño de partícula mayor a mesh 100.



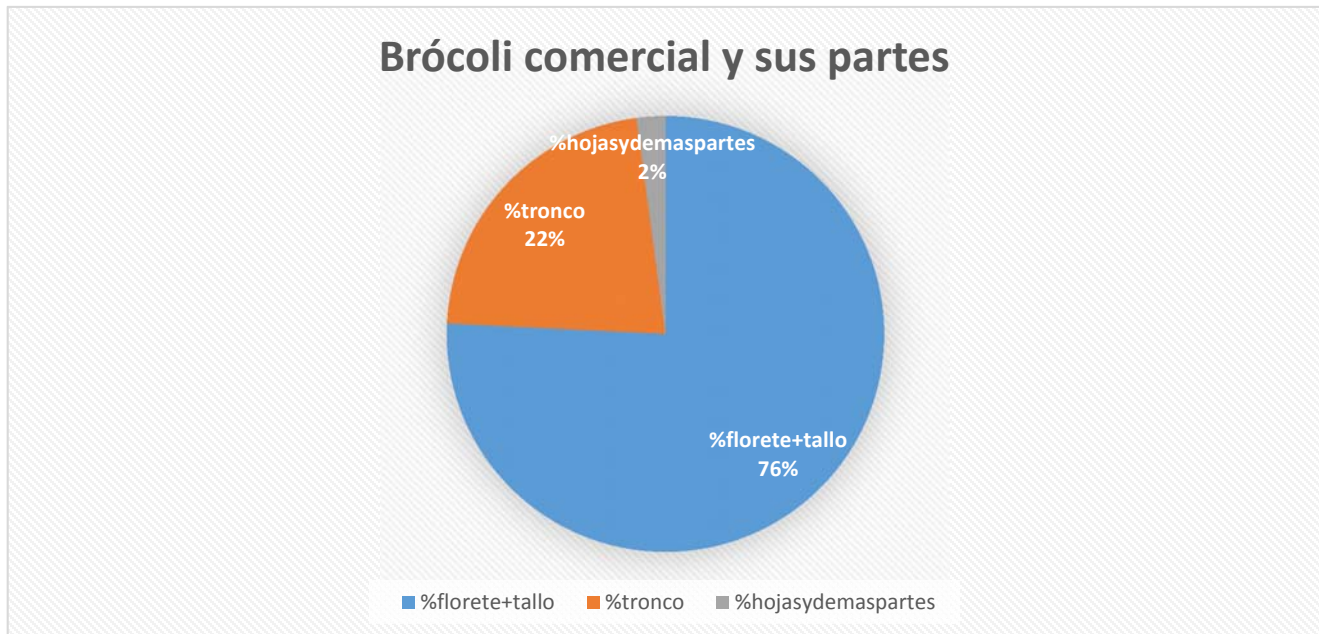
Gráfica # 9: Distribución de partícula en comparación con otros tipos de harinas existentes en el mercado

En esta gráfica se muestra una comparación de distribución de partícula entre distintas harinas, se observan mayores porcentajes de tamaño de partícula en mesh 80 y 100.



Gráfica # 10 Distribución de partes de brócoli comercial

En la gráfica se muestra el porcentaje de distribución de las partes del brocoli comercial, se observa que el florete y tallo es el porcentaje mayor.



Gráfica # 11 Curva de secado por horno de convección

En esta gráfica se observa la tendencia que tuvo el proceso de deshidratado en el tronco; se observa que el tronco de Chimaltenango contenía una humedad inicial mayor pero llegaron a la misma humedad final con el de ALCOSA.

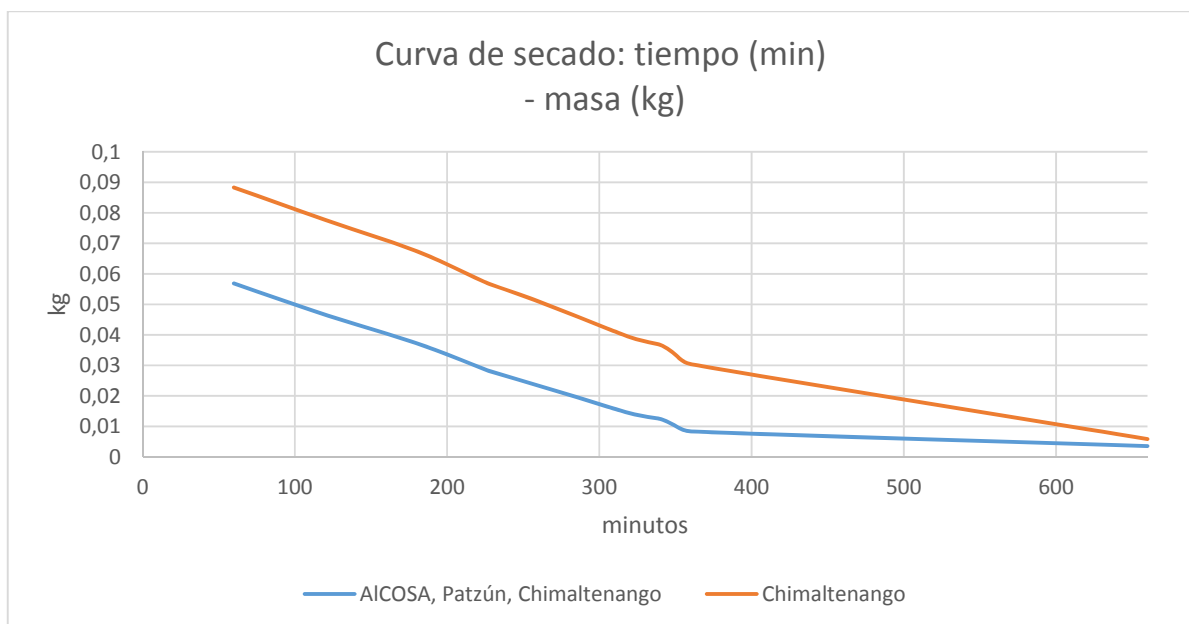


Tabla # 4: Densidades y humedades según tipo de brócoli

En esta tabla se muestra la densidad y humedad final de las harinas de tronco de brócoli obtenidas por el proceso de secado escogido, donde se observa que la de ALCOSA es levemente mayor a la de Chimaltenango.

| Procesos | Densidad (g/cm ³) | %Humedad final de harinas |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| ALCOSA (Patzún, Chimaltenango) | 0.7 ±0.01 3 | 6.26% ±0.01 |
| Chimaltenango | 0.6 ±0.01 5 | 4.65% ±0.01 |

Tabla # 5: Análisis proximal de la harina de tronco de brócoli

En esta tabla se muestra la composición proximal de la harina escogida, se observa que existe mayor cantidad de carbohidratos, proteína, y fibra dietética.

| | g/100g de base seca |
|------------------------|---------------------|
| Humedad | 7.43 ±0.01 |
| Proteína | 18.15 ±0.02 |
| Grasa | 2.81 ±0.01 |
| Cenizas | 12.75 ±0.01 |
| Carbohidratos | 47.04 ±0.01 |
| Fibra dietética | 34.07 ±0.10 |

Tabla # 6: Vida de anaquel de la harina según parámetro

En esta tabla se muestra los diferentes parámetros de evaluación de vida de anaquel en la harina obtenida por el proceso de secado escogido.

| Parámetro | Meses |
|------------------------------------|-------|
| Olor | 9.3 |
| Color | 21.5 |
| Apariencia (presencia de insectos) | 54.6 |
| Actividad de agua | 658.9 |

Tabla # 7: Formulaciones de nachos realizadas

En esta tabla se muestra las formulaciones para nachos basadas en el concepto de harinas compuestas, en donde fue variando los niveles de harina de tronco de brócoli, trigo, y maíz.

| Harinas | F1 0%harina de t. brócoli | F2 8% harina de tronco de brócoli | F3 20% harina de tronco de brócoli | F4 0% trigo/35% harina de tronco de brócoli | F5 0% Trigo/32% harina de brócoli y harina de pizza | F6 0% trigo/ tronco triturado de brócoli |
|-----------------------------|------------------------------------|--|---|---|--|--|
| Harina de maíz | 80 | 74 | 64 | 65 | 58 | 65 |
| | | | | | | |
| Harina de pizza | - | - | - | - | 10 | - |
| Harina tronco de brócoli | - | 8 | 20 | 35 | 32 | 35 |

Tabla # 8: Resultados de prueba sensorial de ordenamiento

| Orden de preferencia | sabor | olor | textura |
|--------------------------|-------|--|--|
| Mayor preferencia | F6 | F1 | No hubo suficiente significancia para percibir al de mayor preferencia |
| Indiferente | F1/F2 | F2/F3/F4/F6 | F2/F3/F6/F1 |
| Menor preferencia | F4/F3 | No hubo suficiente significancia para percibir al de menor preferencia | F4 |

Tabla # 9: Resultado de prueba de preferencia pareada

| |
|---|
| Existe una leve preferencia por F4 sin embargo no existe suficiente evidencia para comprobar que exista preferencia por F4 o F5 |
| Fritico > F calculado (*ver anexos: Tabla # 39 - 40) |

Tabla # 10: Análisis de dureza, ancho, y diámetro de nachos

En esta tabla se muestra la evaluación de dureza, grosor, y diámetro de los nachos realizados, no se observan diferencias mayores entre cada formulación.

| | Dureza de penetración (mm) | Grosor (mm) | Diámetro (cm) |
|-----------|----------------------------|-------------|---------------|
| F1 | 1.00 ±0.01 | 0.55 ±0.07 | 4.10 ±0.01 |
| F2 | 1.00 ±0.01 | 0.55 ±0.07 | 4.05 ±0.07 |
| F3 | 1.50 ±0.07 | 0.45 ±0.07 | 4.00 ±0.01 |
| F4 | 2.00 ±0.01 | 0.55 ±0.07 | 4.05 ±0.07 |
| F5 | 2.50 ±0.07 | 0.50 ±0.01 | 4.05 ±0.07 |
| F6 | 5.00 ±0.01 | 0.50 ±0.01 | 4.05 ±0.07 |

Imagen # 1: Formulaciones de nachos



VII. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar una harina a partir del tronco de brócoli para compararse con la harina de trigo; este estudio se dividió en tres fases principales. La primera fase fue evaluar procesos de deshidratación y sus efectos en funcionalidad, vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante; la segunda fase fue ver los rendimientos, de cada proceso, curva de secado y análisis de granulometría y densidad entre cada tipo de brócoli; y la tercera fue análisis proximal, vida de anaquel y análisis sensorial en un producto utilizando un tipo de brócoli.

A. Fase 1

1. *Vitamina C.* Se determinó concentración de vitamina C por el método HPLC, utilizado por Volden, J. *et al.* 2008. En el caso de la harina del tronco proveniente de ALCOSA, el proceso que logró preservar una mayor concentración de vitamina C fue la liofilización seguida de un escaldado por vapor. Se puede observar también que existe una semejanza entre los procesos de deshidratación por horno de convección, en donde se obtuvo la mayor pérdida de concentración de vitamina C. Con excepción del proceso de deshidratación en donde se escaldó por microondas, se obtuvo una concentración de más del doble de los demás procesos de escaldado. Este suceso puede darse ya que el calor producido por el microondas puede provocar en menor grado la reacción de Maillard, ya que durante esta reacción la vitamina C (debido a sus aminoácidos) se degrada con mayor facilidad. Esto se puede confirmar ya que con los procesos de deshidratado por microondas se observa un comportamiento semejante en donde la concentración de vitamina C es mayor. El proceso de liofilización mantuvo una concentración de vitamina C mayor (según el análisis de varianza, es significativo) respecto a los procesos de deshidratación por convección, debido a su naturaleza. En lo que se refiere a la diferencia entre procesos de escaldado en la deshidratación por horno de convección, se puede mencionar que el escaldado por microondas mantuvo una concentración mayor de vitamina C en comparación con los escaldados por agua y vapor, sin embargo no se puede afirmar que exista una tendencia entre cada tipo de escaldado. Esto ya que en los procesos de deshidratación por horno de convección, el proceso sin escaldar mantuvo una mayor concentración de vitamina C, sin

embargo en los procesos de deshidratación por microondas y liofilización, el escaldado promovió la retención de vitamina C a comparación de los no escaldados. Respecto a la comparación entre la potencia con la que se deshidrata por microondas (1100w y 1200w), se observa que al deshidratar a menor potencia se obtiene una concentración mayor de vitamina C.

En cuanto al origen del brócoli, se puede ver que en el caso del brócoli proveniente de Chimaltenango se observan algunas diferencias en las tendencias mencionadas anteriores. Los procesos de deshidratación por horno conservaron una mayor concentración de Vitamina C que los troncos de ALCOSA. Se puede observar que el proceso sin escaldar tuvo un comportamiento similar al de ALCOSA, ya que mantuvo la mayor concentración de vitamina, sin embargo el escaldado por vapor fue el que le siguió a diferencia con los troncos de ALCOSA, en donde el escaldado por agua mantuvo mayor concentración. La tendencia que se mantuvo fue la del escaldado por microondas y luego deshidratado en donde se observa que se obtiene la mayor cantidad de vitamina C de todos los procesos 14mg/g. Esto puede ser una confirmación de lo discutido anteriormente sobre la reacción de Maillard reducida. También se puede relacionar con la otra especie de troncos en que el proceso de deshidratación por microondas, al escaldar por vapor se retiene mayor concentración de Vitamina C, sin embargo durante el proceso de liofilización se observa que el no escaldado tuvo una mayor concentración de vitamina C. Al escaldar por vapor se debería estar previniendo actividades enzimáticas por medio de calor a través de vapor, a diferencia del escaldado por agua, en donde el agua puede penetrar la superficie y dañarla de mayor forma. El proceso de liofilización puede que dañe la vitamina C cuando se da el paso de congelación.

Según los datos obtenidos existe una variación mayor la cual se observa en el caso del proceso de deshidratado por microondas y escaldado por microondas, que puede ser a que las condiciones en cada proceso cambiaran. Para comprobar estas variaciones se realizó un análisis de varianza, que se observa en los anexos: Tabla #11, donde el valor F crítico es menor al F calculado por análisis de varianzas, lo que indica que si existe una diferencia entre los procesos. Se puede mencionar también que las tendencias discutidas entre cada proceso y tipo de brócoli son correlacionadas ya que el coeficiente es de 1; con excepción para los procesos de liofilizado en donde no existió un patrón.

Estos resultados pueden compararse con los datos obtenidos por Wambui, A. *et al.* 2010, donde obtuvieron 15.1mg/g en tronco de brócoli fresco tratado con blanqueo térmico, y valores de entre 2.5 a 13.3mg/g de ácido ascórbico en troncos molidos y deshidratados. Los valores obtenidos en este trabajo se encuentran dentro de este rango. La diferencia con el estudio presentado por Wambui, A. *et al.*, es que se evaluaron distintos procesos y pHs. El método que utilizaron para obtener la concentración por medio de HPLC también varía con respecto a Volden, J *et al.*, en que utilizan distintos solventes para las columnas y una longitud de onda distinta para la absorción UV.

El método desarrollado para este análisis está basado en el de Volden, J. *et al.*, con ciertas modificaciones, ya que el primer método que se había decidido utilizar fue el de Wambui, A. *et al.* El método de Wambui, A. *et al* se puede observar en los anexos: Cromatograma #1 y #2, empezó a dar un problema en donde el pico del estándar de ácido L-ascórbico no era posible separarlo para integrarlo. Se intentó variar de solvente y pH de soluciones pero no dio resultado como se observa en los anexos: Cromatograma #5, en donde se ve que tanto la muestra de la extracción de vitamina C como el estándar están corridos y con el segundo pico. Además en los anexos: Cromatograma #3 y #4, se observa otro problema que se presentó, en el que surge una depresión que vuelve aún más difícil la integración de los picos. Se buscó disminuir el flujo de inyección, variar pH, utilizar solventes como agua, metanol, etanol, y no se vio un resultado positivo. También se buscó variar la longitud de onda (245nm-265nm) de absorción como se observan los espectros en los anexos: Espectro #1 y #2 y se demostró que la longitud utilizada era muy amplia en donde existían otros componentes en la muestra.

Es por esto que se decidió utilizar el método de Volden, J. *et al.* Este método, como se observa en los anexos: Cromatograma #6, no dio problema de la depresión anterior, sin embargo siempre existió la falta de separación de los 2 picos, tanto en el estándar como en la muestra. Se asumió que era posible que el segundo pico fuese del ácido D-ascórbico. Entonces se realizó un análisis con un cromatógrafo HPLC con detector de arreglo de diodos; en donde se buscó la longitud de onda en donde el pico del ácido l-ascórbico sería visto, esto se puede observar en los anexos: Imagen #2 y Cromatograma #7. Se cambió entonces la longitud de onda de 254nm a 234nm, con lo que se logró separar tanto el pico de la muestra

como del estándar. En los anexos: Cromatograma #8, se puede observar el estándar a diferentes concentraciones donde no existe otro pico y está claro. En los anexos: Cromatograma #9 y #10, se muestran las muestras al mismo tiempo de retención del estándar y sin el segundo pico que causo problema. La metodología recomendada se muestra en los anexos.

2. *Polifenoles totales.* Se determinó polifenoles totales por el método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu utilizado en Banerjee R. *et al.*, usando catecol como estándar. Los polifenoles son sustancias antioxidantes sin embargo, no se midió la disponibilidad de estos en las muestras. Se decidió evaluar los tres procesos de deshidratación en las distintas harinas, utilizando el tronco de brócoli sin escaldar. En la Tabla #2 se puede observar que no existe una tendencia respecto a los dos tipos de brócoli utilizado; esto ya que la harina proveniente del brócoli de la empresa ALCOSA y la de Chimaltenango, no tuvieron una diferencia significativa en contenido de polifenoles en las muestras. Esto se comprueba ya que se realizó un análisis de correlación y el coeficiente se aleja de 1. Se observa que el proceso con mayor concentración de microgramos equivalentes de catecol, en la de ALCOSA fue la deshidratada por horno de convección, mientras que la de mayor del de Chimaltenango fue la deshidratada por microondas. También se observa que esta misma harina deshidratada por microondas fue la de mayor concentración de polifenoles totales. Se evaluó también el proceso de escaldado para compararse con la deshidratación por horno de convección sin escaldado. Se observa que existe una menor cantidad de polifenoles totales al ser escaldada. Esto puede ser debido a que hubo doble tratamiento térmico. El proceso de escaldado fue evaluado porque la harina utilizada para el análisis sensorial fue escaldada y también ya que es un proceso común que se utiliza en la industria de harinas de vegetales. Se podría mencionar, que al haber un tratamiento térmico más fuerte como es el caso del deshidratado por horno de convección respecto a la liofilización y microondas, hubo una mayor disponibilidad de polifenoles como lignanos y ligninos que al momento de aplicarles calor se aumentara el área superficial y dejara expuestos estos compuestos. Esto se puede mencionar para el caso del brócoli de ALCOSA, sin embargo con el de Chimaltenango, las microondas pudieron haber tenido este efecto a mayor escala, debido a que como se encuentran los polifenoles dentro del tronco; por lo que la disponibilidad pudo haber dependido a una escala de nivel de partículas en donde las ondas

podieron penetrar, mientras que la deshidratación y liofilización fueron afectadas a una escala mayor.

El análisis de varianzas indica que sí existe diferencia entre las muestras. Estas variaciones se pudieron dar en el proceso de liofilización, debido al tiempo que se llevó por la capacidad del liofilizador, la cual variaba, dándose en diversos espacios de tiempo; para el deshidratado por microondas hubo un aspecto similar ya que se variaba según la masa puesta a deshidratar; al igual que en el deshidratado por convección. Esto se refiere al tiempo que estuvo expuesta el tronco triturado de brócoli a los distintos procesos. Otros factores que pudieron haber afectado son el estado nutricional de la planta y condiciones de cultivo.

No es posible comparar los resultados con Banerjee R. *et al.* Ya que este estudio evaluó los polifenoles en bocadillos de carne de cabra mezclados con el polvo de brócoli. Sería recomendable evaluar la harina de tronco de brócoli en un alimento similar para poder comparar.

Se puede mencionar que el catecol, contiene menos grupos hidroxilados que el ácido gálico y éste se encuentra en compuestos glucósidos, es posible que el brócoli contenga más compuestos glucósidos como son los glucosinolatos, por lo que sería recomendable utilizar ácido gálico como estándar, separar los tipos de polifenoles, por métodos de antocianinas u otros métodos.

3. *Capacidad antioxidante.* Se determinó la capacidad antioxidante por medio de DPPH, midiendo la actividad antioxidante, según Brand-Williams W, *et al.* y Banerjee, R. *et al.* La capacidad antioxidante es un indicador necesario para saber la actividad de posible disminución de riesgo de contraer enfermedades crónicas, tipo cardiovascular o cancerígena, que pueda tener la harina desarrollada. Para este análisis se evaluó los tres distintos tipos de proceso de deshidratación y luego el proceso de escaldado en el proceso de horno de convección. Se presenta la capacidad antioxidante como porcentaje de actividad de radicales libres (gramo de muestra necesario para atrapar 100 g de DPPH), y como EC 50 que menciona cuantos gramos de DPPH o radicales puede atrapar un gramo de la harina. Se puede observar en la Tabla #3 que de los tipos de brócoli utilizado, el de la empresa ALCOSA fue el que tuvo menores actividades antioxidantes debido a la comparación de EC50 con el

otro tipo de brócoli. Se puede observar también que es posible relacionar los procesos con la capacidad antioxidante sin importar el tipo de brócoli. Se realizó un análisis de correlación en donde el coeficiente es muy cercano a 1 (0.999254), por lo que sí existe una tendencia. Esto ya que ambos tipos de harinas de troncos mostraron que la liofilización permite un mayor EC50, seguido por el deshidratado por microondas y por último la deshidratación por horno de convección. Es posible que la liofilización al ser un tratamiento no térmico conserve o proteja los compuestos antioxidantes activos capaces de atrapar radicales. La deshidratación por microondas sucede a nivel de ondas y molecular por lo que puede que su efecto térmico sea mucho más rápido, específico y eficaz al momento de que se está realizando. Se puede mencionar también que el tiempo que el microondas utiliza es relativamente corto comparado con los demás procesos. Esto también podría decirse que el microondas degrada solamente a compuestos antioxidantes débiles y podría ser que liberara más compuestos que estuvieran atrapados por fibra como los polifenoles: ligninos y lignanos (Mahn, A *et al.*, 2012). En la harina que llevó un proceso de escaldado previo, se observa que si hay una reducción en su capacidad antioxidante. Estos resultados se pueden comparar por el estudio hecho por Mahn, A. *et al.*, en donde se realizó polvo liofilizado de floretes de brócoli. En el estudio mencionan que el extracto de polvo de florete que tuvo un tratamiento de blanqueo tuvo un EC50 de 27.7, o el más alto comparado con 14.4 para polvo de florete fresco. El estudio menciona que el blanqueo pudo haber logrado liberar compuestos antioxidantes incrementando la actividad de atrapar radicales libres. Sin embargo, este no fue el caso con el tronco de brócoli, puede ser a que el doble tratamiento térmico haya causado primero la liberación de los compuestos polifenólicos y antioxidantes y luego durante la deshidratación por horno se hayan perdido ya que se encontraban más expuestos. Sería recomendable evaluar la liofilización y el escaldado para ver si la capacidad antioxidante realmente aumenta también en el tronco como el florete que menciona Mahn, A *et al.*

En el análisis de varianzas, se puede ver que si existen diferencias entre los procesos realizados. Esto se puede deber no solamente a los procesos, y sus tiempos como se observa en los anexos: Tabla #16, sino también a la extracción para el método de DPPH. En la extracción hay que tomar en cuenta que cada muestra es distinta y por lo tanto cada cálculo también por lo que es difícil estandarizar el procedimiento. Otro factor que pudo haber afectado es el tiempo que estuvo la muestra de harina almacenada para luego ser utilizada

para la extracción, además de las condiciones iniciales de deficiencia de boro en el tronco y tiempo de vida que llevaba luego de la cosecha. Sería recomendable realizar, como se propuso en el estudio de Mahn, A, *et al.*, en donde cultivaron y programaron la cosecha de los brócolis además que estaban enriquecidos con selenio por su capacidad antioxidante.

4. *Relación Polifenoles totales-capacidad antioxidante.* Existe una relación en los resultados de cantidad de polifenoles totales respecto a la capacidad antioxidante. Esta consiste en que entre mayor cantidad de polifenoles totales exista dentro de la harina, mayor posibilidad de capacidad antioxidante debería existir. Sin embargo, esto no sucede debido a que como se mencionó antes, los polifenoles están dentro de la fibra por lo que es difícil que se puedan obtener de una forma más disponible. Se realizaron correlaciones para saber si existía alguna tendencia estadística entre la cantidad de polifenoles totales y la capacidad antioxidante y el coeficiente de correlación resultó muy lejano a 1, concluyendo que realmente no hay. A pesar de ello, se realizó una correlación para saber si existía una tendencia en la pérdida sobre la baja de cantidad de polifenoles totales y capacidad antioxidante por el proceso de escaldado, y el coeficiente resultó 1; por lo que lo antes mencionado sobre el doble tratamiento térmico causa primero liberación de compuestos antioxidantes (entre otros como la vitamina C) y luego se degradan, es posible.

5. *Índice de absorción de aceite.* Para el método de absorción de aceite se utilizó el método de Viena L, *et al.* Este análisis se realizó para todos los tipos de proceso tanto de escaldado como de deshidratado. Para visualizar mejor los resultados se realizaron gráficas. En la Gráfica #1 se puede observar que tanto la harina producida a partir del tronco de desperdicio de la empresa ALCOSA y el de Chimaltenango, no en todos los procesos tienen una tendencia. Para confirmar esto se realizó un análisis de correlación en donde se puede observar en los anexos: Tabla #26, quienes si tienen una tendencia válida.

Se observa que para el proceso de no escaldado deshidratado por horno de convección existe una diferencia entre los dos tipos de brócoli. Esta diferencia puede deberse a las condiciones físicas del tronco antes del escaldado como el daño antes mencionado de la deficiencia de boro. Referente al escaldado por agua y deshidratado por horno existe diferencia visual en menor cantidad que el proceso anterior. En lo que concierne al escaldado por vapor se mira poca diferencia. De estos tres tipos de no escaldado y escaldado, se observa

que el no escaldado por parte del brócoli de Chimaltenango y el escaldado por agua de ALCOSA son los que tienen mayor poder de absorción de aceite. No existe una diferencia significativa según el análisis de correlación ya que el coeficiente es 1. Se puede ver también que entre el escaldado por microondas no hay mucha diferencia y no existe una tendencia según la correlación con el escaldado con agua.

En el proceso de deshidratación por microondas se observa una pérdida de poder de absorción de aceite según la potencia utilizada, se mantiene la absorción en 1200W. Se observa también que los índices de absorción entre los no escaldados difieren según el tipo de brócoli utilizado. Esta diferencia se debe a lo antes mencionado sobre condiciones de deficiencia de boro y las variaciones que existan. Puede ser que al contener mayor abertura y haber estado más expuesto debido a esta deficiencia se haya deteriorado antes, causando que el proceso de deshidratación tuviera una pérdida mayor de compuestos lipídicos. En el escaldado por vapor se observa que no hay mucha diferencia visual entre los dos tipos de brócoli, sin embargo se observa una mejora en el tronco de Chimaltenango respecto a aumento de absorción. No existe una tendencia respecto al escaldado por vapor y el no escaldado y tampoco del escaldado por vapor y no escaldado a 1100W.

En cuanto a los procesos de liofilización no se observa una relación entre los dos diferentes tipos de brócoli, ya que hay distinto comportamiento, y se comprueba con que no existe una correlación entre ellos.

Sobre el análisis de varianzas se observa que el F calculado es menor al F crítico por lo que realmente no existe diferencia significativa entre cada proceso, solo existen leves tendencias como se mencionó anteriormente.

6. *Índice de absorción de agua.* Para el método de absorción de agua se utilizó el que describe Viena, L *et al.*, también. Se puede observar en Gráfica #2. Para los procesos de deshidratación por horno de convección, se observa que respecto a los tipos de tronco de brócoli, sin importar si hubo escaldado o no, el de mayor índice de absorción de agua siempre fue el de Chimaltenango. Sin embargo existe una excepción en el escaldado por microondas. Es posible que el escaldado por microondas penetrara a lugares o compuestos hidrófilos que estuvieran más expuestos en el brócoli de Chimaltenango debido a la

deficiencia de boro. Lo que no se puede afirmar por no existir una tendencia, según el análisis de correlación.

En el deshidratado por microondas se observa que se mantiene un mayor índice de absorción al aumentar la potencia a 1200W que a 1100W. Sobre el escaldado no se observa una tendencia ya que no hay diferencia entre los resultados, solo que el tipo de brócoli de ALCOSA es el que contiene mayores índices de absorción. Y esto se confirma ya que si hay una correlación sobre esto.

Referente a la liofilización, se observa que hay una posible tendencia en donde el tipo de brócoli de Chimaltenango mantenga mayores compuestos hidrófilos lo que cause que haya una mayor absorción. La tendencia se confirma con el análisis de correlación ya que el coeficiente es 1. Se puede decir también que hubo un mayor índice de absorción por parte de las harinas realizadas por liofilización que por los demás procesos térmicos.

Al hacer el análisis de varianzas se observa que no existen diferencias significativas ya que el F calculado es menor al F crítico, solo se pueden mencionar las correlaciones anteriores.

7. *Relación índice de absorción de agua y de aceite.* Se puede observar que tanto para el tipo de brócoli de la empresa ALCOSA como el de Chimaltenango, existe una tendencia sobre el aumento en absorción de agua y aceite. Esto ya que la correlación muestra un coeficiente de 1 en ambos casos. Lo que quiere decir que si hubo efectos sobre cada tipo de escaldado y deshidratado y se observó cómo se degradaron tanto los compuestos lipofílicos como los hidrófilos, aunque se podría mencionar que en una mayor cantidad los hidrófilos, ya que éstos en un vegetal como el brócoli están en mayor cantidad, debido al contenido de carbohidratos y fibra. La propiedad de absorber agua ayuda en procesos para bebidas y en industriales para aumentar tamaño. El de absorber aceite para mantener las grasas y lograr mejores uniones al usar emulsificantes. Sin embargo se observa que el índice de absorción de agua es mucho mayor que el de aceite. Esto debido a lo ya mencionado de carbohidratos y fibra presentes y poca grasa, sería recomendable realizar una determinación de carotenoides para ver la cantidad que existe en la harina. Los valores de índices de absorción de agua están dentro de los rangos que determinó Valenzuela, al igual que el de aceite.

8. *Índices de absorción de aceite y agua; comparación con otras harinas.* En la Gráfica #3 se puede observar tanto los índices de absorción de agua como de aceite para distintas harinas de trigo, maíz, yuca y arroz. Se decidió comparar con el trigo, ya que es la harina que se utiliza para panificación; el maíz porque es la harina para realizar productos nacionales como tamales y tortillas; arroz porque es el cereal más relevante en el mundo; y yuca porque se puede comparar como almidón. Se observa que realmente existe un índice de absorción de agua mucho mayor por parte de la harina de brócoli a comparación de todos los demás. El índice de absorción de aceite es levemente mayor a todos los demás también, pero no marca diferencia. Según el análisis de varianzas no existe realmente una diferencia significativa ya que el F calculado es menor al crítico, a pesar de la diferencia visual especialmente la de absorción de agua de la harina de tronco de brócoli. A pesar de eso, si es posible mencionar que esta harina tiene una capacidad de absorción mayor a la de un almidón como es el de harina de yuca, lo cual le puede proveer una buena funcionalidad al momento de ser utilizada en productos donde se requiera retener agua o absorberla. Esta capacidad de absorber agua es debida principalmente a que originalmente el tronco, como se observa en los anexos: Tabla #17, contenía humedad o agua entre 92-94%; para poder contener toda esta cantidad de agua, la cantidad de carbohidratos y fibra debe ser alta y eso se confirma con el análisis proximal.

B. Fase 2

1. *Rendimiento y costos.* Se determinaron distintos tipos de rendimiento en los varios procesos para poder evaluar y observar cómo se desarrollaría la harina final respecto al desperdicio inicial. En la Gráfica #4, se observa el comportamiento del brócoli de ALCOSA y en la #5 la del otro tipo de brócoli. Se puede ver que el porcentaje recuperado de tronco sobre el desperdicio de la exportación es cercano al 50%. En ambos tipos de brócoli, el porcentaje de tronco recuperado o tronco triturado sigue un mismo comportamiento. Esto se debe a que como se observa en la Gráfica #10, el porcentaje máximo que se puede obtener de tronco respecto a la masa total del brócoli completo es de 22%. Al momento de procesar el desperdicio es necesario eliminar ciertos tallos y hojas, que quedaron del florete. También hay que tomar en cuenta lo de la deficiencia de boro, ya que ésta causa que sea necesario

eliminar las partes con este problema. Esto reduce en gran cantidad, casi a la mitad, el porcentaje de material utilizable.

También se puede observar el porcentaje de tronco triturado o tronco triturado sobre el tronco obtenido del desperdicio. Este se observa en cantidad mayor y cercana siempre al 90%. El tronco triturado de tronco de brócoli se podría considerar como una pulpa de fruta para ser utilizado en productos húmedos. Las pérdidas que pueden haber durante el proceso de triturado son pocas, ya que este proceso simplemente está modificando la estructura y liberando agua y demás compuestos; aumenta también el área superficial para el posterior proceso de deshidratación.

Se puede observar que el porcentaje de rendimiento sobre desperdicio total es muy bajo, este porcentaje se refiere al porcentaje obtenido de harina sobre el desperdicio total utilizado. Este porcentaje es muy bajo y no sube de 5.54%. Este porcentaje se debe no solamente a lo antes mencionado sobre el corte de tallos y deficiencia de boro, sino también al porcentaje de humedad inicial que contienen los troncos, que es cercano al 94%. Esto quiere decir que existe solo 6% de materia seca para poder ser procesada para harina. Esto se observa en el porcentaje de rendimiento sobre tronco, que indica cuanta harina se produjo sobre el tronco triturado este porcentaje sigue siendo bajo pues no pasa del 12.71%.

En la Gráfica #6, se puede observar cuanta masa pudo ser deshidratada por hora. Se observa que el de mayor flujo es el proceso de deshidrato por horno de microondas, ya que se logró procesar entre 0.92 a 1.35kg/h. Le sigue el proceso de deshidratado por horno de convección pero con una mayor diferencia en flujo, y el proceso de liofilización es el más tardado. Esto se debe a que el proceso de deshidratado por horno de convección lleva 14 horas; el proceso de deshidratado por microondas entre 0.43 a 0.83 horas que es prácticamente entre 40 a 50 minutos; y finalmente el proceso más lento es la liofilización, ya que el tiempo utilizado fue de más de 23 horas. La liofilización se ve con dificultad ya que la capacidad del liofilizador consta de 6 frascos de 300g; que son compartidos entre proyectos. También el liofilizador actúa de forma en que primero se baja la presión llegando cercana al vacío, y luego empieza a sublimar.

Respecto al horno de microondas, se debe tener cuidado con el tiempo y se debe revolver la muestra, ya que esto se realiza por intervalos de tiempo. Si no se realizara de esta forma la muestra se quemaría. El proceso de revolver o cambiar de lugar la muestra dentro del horno de convección también ayuda a uniformar el deshidratado. Es posible mencionar que no se observa un comportamiento respecto a los tipos diferentes de brócoli, pues cada flujo es distinto en cada proceso. También se debe considerar que el horno microondas utilizado no está diseñado para un proceso industrial.

En la Gráfica #7, se pueden observar los costos estimados o aproximados de cada proceso de deshidratación. Estos costos fueron calculados con el voltaje y el flujo másico, es un indicador simple y relativo para saber cuál de todos los procesos sería el de un mayor costo. Se debe mencionar que al no contar con los demás costos de producción no se puede tomar en cuenta como un costo real. El costo está presentado en Quetzales por kilogramo, tomando en cuenta el costo de luz de una industria alimenticia en Guatemala. Se observa que el proceso con un costo mayor es el liofilizado, lo que se debe principalmente a la potencia utilizada para llegar al vacío, y el tiempo necesario para mantener un flujo másico pequeño. El proceso de deshidratado por horno de convección le sigue; siendo el costo menor el del microondas. Esto se debe a lo antes mencionado de la potencia utilizada y el tiempo para deshidratar la cantidad de masa utilizada. Se puede ver que respecto al proceso de liofilizado, el tronco de ALCOSA es más costoso; mientras que en el proceso de deshidratado por horno de convección resulta ser levemente más costoso el otro tipo de tronco. En el deshidratado por microondas realmente no hay una diferencia visual.

2. *Distribución de partícula, curva de secado, humedad y densidad.* Para esta parte se analizó solamente la harina producida por deshidratado por horno de convección y escaldada por agua; ya que este escaldado es el más común utilizado y es más probable que las industrias tengan un horno de convección que uno de microondas o un liofilizador.

Se analizó la distribución de partícula de la harina producida a partir de los dos tipos de brócoli. En la Gráfica #8 se observa que el tamaño de partícula de los granos producidos por la molienda se encuentran en su mayoría entre un mesh de 100. Se puede evaluar también que existe otro pico entre 65 y 85 en donde está la siguiente cantidad con mayor tamaño de partícula seguida de 100. Se descarta este porcentaje porque la diferencia entre 15% y 50%

es notable. Este mesh mayor a 100 además, se debe a que se utilizó un ciclón con tamiz de 100 para la molienda. Es importante notar el tamaño de partícula de entre 65-85, además de las de 100, ya que este tipo de partículas son las que se mezclan con las otras harinas como el maíz y el trigo. Esto se debe a que las partículas con un tamaño mayor a 100 de mesh, tienen la propiedad de dispersarse muy fácilmente; por lo que al final es posible que aumente el porcentaje de partículas con tamaño menor a 100. Respecto a la diferencia entre cada tipo de brócoli, realmente no se encuentra alguna ya que al realizar el análisis de correlación entre las mismas el coeficiente es 0.9926 por lo que ambas harinas siguen la misma tendencia. Esto se debe a que ambas fueron molidas por el mismo aparato. Entre factores que puedan afectar el tamaño de partícula del tronco de brócoli es la cantidad de fibra, ya que esta fibra es la que le otorga más fricción y dificultad a la molienda.

Al comparar con otros tipos de harina, se observa que la harina de brócoli tiene más porcentaje de partícula mayor a mesh 100, mientras que las demás harinas tienen porcentajes mayores de tamaño entre 75 y 85 mesh. Esto puede afectar como ya se había mencionado al momento de mezclarlas y que pueda existir segregación. Para mejorar la distribución de la partícula del brócoli y poder hacer una mejor comparación, se debería moler todas las harinas con el mismo molino. Se podría comparar la porción de harina de tronco de brócoli que se encuentre entre 75 a 85 con el resto de harinas, sin embargo es muy baja a comparación de las demás. No se puede hacer una relación con proteína ya que si se observa, tanto las harinas de trigo duro, suave y todo uso, como va disminuyendo el porcentaje y podría ser debido a la cantidad de proteína en cada harina; incluso la de maíz. Sin embargo la proteína del tronco es, según el análisis proximal, de 18.15% mientras que las de trigo van entre 12 y 13%, por lo que no hay una relación sobre este compuesto. Se puede mencionar que la harina de trigo todo uso es posible relacionarla con la de harina de tronco de brócoli ya que su porcentaje mayor (44%) está arriba del tamaño de mayor a 100; por lo que al utilizar esta harina con la de tronco de brócoli se podrían mezclar y evitar la segregación

Respecto a la curva de secado que se observa en la Gráfica #11; se puede ver que el comportamiento en el secado por parte de ambos tipos de tronco de brócoli es similar. El tiempo de 14 horas mencionado por Valenzuela no varió por tipo de brócoli, ya que se procuró llevar un control y estar revolviendo el tronco triturado cada 1 o 2 horas, para hacer

más uniforme el deshidratado. Sin embargo se pudo haber disminuido el tiempo de deshidratación ya que la humedad final de ambas harinas fue menor a 10% lo cual es requerido para una harina (Valenzuela, 2010). Esto puede afectar ya que al eliminar tanta agua se está disminuyendo también la actividad de agua y aumentando la probabilidad de que se degrade la harina, también concentra las grasas y esto puede causar rancidez. A pesar de haber utilizado una temperatura de 65°C, es posible mencionar que debido al daño causado por la deficiencia de boro el producto haya estado más expuesto, luego del triturado y el área superficial haya aumentado mucho. La humedad obtenida para cada harina es comparable con el estudio de Maldonado, R. Pacheco-Delahaye. E., ya que ellos obtuvieron un 6.49% a una temperatura de 60°C y con una humedad inicial de 92%. En cuanto a las densidades, se puede mencionar que la del brócoli de ALCOSA es mayor a la del de Chimaltenango. Sin embargo esto puede ser ya que la densidad indica unidad de masa sobre volumen y si la harina de ALCOSA contenía mayor humedad existe un mayor peso por parte de ésta y ocupa menos volumen, que la otra. La densidad puede dar el volumen (inverso) que ocupa la harina por peso en una bolsa o empaque; por lo que la de ALCOSA ocuparía más espacio y por lo tanto podría ser más costoso empacarla que la harina del otro tipo de brócoli.

C. Fase 3

1. *Análisis proximal.* Se realizó el análisis proximal según los métodos AOAC, para la harina deshidratada por horno de convección y escaldada por agua proveniente de la empresa ALCOSA. Se observa que existe una composición proteica alta a comparación con la harina de trigo, arroz y maíz que no pasan de 12-13 g/100g; la grasa es mayor a la de trigo y arroz pero parecida a la de trigo integral, y maíz; según el cuadro de Dapcevic, *et al.* Si es notable el hecho de que la harina de tronco de brócoli tiene una mayor concentración de cenizas, esto puede ser debido a los minerales que contiene. Sin embargo cabe mencionar que debido a la cantidad de polifenoles de la fibra presentes en la harina es muy difícil que estos estén biodisponibles para el organismo ya que pueden estar quelados, sin importar el tratamiento térmico que se le dé. Sería recomendable realizar un análisis de minerales para saber qué tipos existen en la harina final. La fibra dietética es mayor comparada con el estudio realizado por Valenzuela al igual que la proteína, humedad y carbohidratos. Es importante

que la harina tenga bastante carbohidrato y fibra soluble ya que le otorga las propiedades altas de índices de absorción de agua.

2. *Vida de anaquel de la harina.* Para el análisis de vida de anaquel se evaluaron 4 parámetros que se observan en la Tabla #6. De estos parámetros los primeros 3 son subjetivos ya que se asignó un valor de 100 al más intenso y valor de 10 al menos intenso. Se evaluó la harina durante 30 días, y la harina se encontraba en una bolsa plástica a temperatura ambiente. Las gráficas de las tendencias se pueden ver en los anexos: Gráfica #28 y #29. Según este análisis el parámetro con menor vida fue el olor ya que se fue perdiendo con más facilidad y se estima que la harina durara con su olor por 9.3 meses. Respecto al color, se observa que dentro de 21.5 meses se perderá; el color fue cambiando de verde/amarillo a solamente amarillo, esto puede ser debido a la clorofila. Es recomendable realizar un análisis de colorimetría con relación a la concentración de clorofila en el tronco antes y después del proceso para saber si los cambios en color pueden afectar significativamente a la vida útil. La apariencia fue sobre presencia de insectos ya que en las harinas suelen infiltrarse huevecillos de insectos o animales similares, sin embargo solo se observaron piedras negras en el producto y no se vio realmente una concentración mayor de suciedades ya que estaba dentro de la bolsa plástica. La vida de anaquel estimada con este parámetro fue mayor de 54.6 meses.

Al evaluar actividad de agua, se evaluó actividad microbiana indirectamente ya que entre mayor actividad de agua tenga la harina mayor medio para que microorganismos se desarrollen y crezcan. En los anexos I se observa la Gráfica #29, para éste se tomaron 3 puntos desde 0 a 132 días; esto equivale a 4 meses y medio aproximadamente. Se observa que la actividad ha aumentado pero no en grandes unidades por lo que al estar empacada en bolsa le ayuda a no existir mucha transferencia de humedad con el ambiente. La vida de anaquel estimada para este parámetro fue la de mayor dimensión ya que tardaría 658.9 meses. Se debe tomar entonces que la vida de anaquel será de 9.3 meses.

3. *Nachos.* Para evaluar la funcionalidad y características organolépticas que la harina pudiera producir se decidió realizar nachos, ya que por su característica de snack salado podría ser aceptado por el consumidor. Además la formulación de nachos incluía tanto harina de trigo todo uso como de maíz; las cuales ya fueron comparadas con esta harina. Se

realizaron 6 formulaciones; éstas se pueden ver en la Tabla #7. La formulación #1 tenía la función de control ya que no contenía harina de tronco de brócoli; la formulación #2 contenía 8% y la #3 el 20% de brócoli (éstos fueron porcentajes semejantes utilizados a los de Valenzuela y Silva E. *et al.*); la formulación #4 se sustituía en un 35% la harina de tronco por la de trigo y la #5 se le agregaba 10% de harina de pizza (para ver si se podía enmascarar el sabor a brócoli fuerte); y por último la formulación #6 que pretendía evaluar el uso de tronco triturado en lugar de harina, y se utilizaba el mismo porcentaje que en la formulación #4.

Para evaluar sensorialmente estos resultados se realizaron dos pruebas; una de preferencia por ordenamiento y otra de preferencia pareada. Para ambas pruebas se utilizaron 15 panelistas. Para la primera prueba según Tabla #8 se determinó que la formulación realizada con tronco triturado tuvo mayor preferencia respecto a sabor y la de rechazo fueron las formulaciones con solamente harina del tronco y con 20% de harina del tronco. Las formulaciones sin harina de tronco y con 8% de harina no tuvieron significancia según la prueba estadística por lo que se pueden considerar que estuvieron en segundo lugar, luego de la formulación con tronco triturado. Respecto al olor hubo preferencia por la formulación control lo que indica que el olor a brócoli si fue un factor que pudo contribuir a la decisión del ordenamiento. No existieron comentarios sobre el olor en específico, solamente que la muestra con tronco triturado contenía un buen sabor, olor y textura. Se debe mencionar también que no hubo significancia para rechazar alguna muestra, y las demás formulaciones no hubo significancia para diferenciarlas y solamente se quedaron en segundo lugar respecto a la muestra control.

Respecto a la textura, se rechazó al no preferirla y colocarla en último lugar a la muestra con 35% de harina de tronco de brócoli, ya que mencionaban los panelistas que tenía un sabor amargo, a tostado o quemado. Esto es un factor que debe discutirse ya que si se observa en la Imagen #1 tanto la formulación con 35% de harina de tronco brócoli como la de 8% de harina de tronco brócoli tienen una apariencia tostada/quemada; a pesar de que estuvieron a la misma temperatura y tiempo de las demás formulaciones. Lo que pudo afectar es la posición en las bandejas del horno.

Respecto a las muestras de 8% de harina de tronco de brócoli, 20%, tronco triturado y control se colocaron en segundo lugar porque no les agradó la textura. Entre los

comentarios de los panelistas está que la textura fue muy aguada, o muy dura, que la textura fue diferente a las de un nacho y que no les parecía esto. Es importante mencionar que la forma que se le dio al nacho fue redonda para mantener un estándar respecto a éste; en donde no se logró un estándar puede ser en el ancho.

En la prueba de preferencia pareada se determinó que realmente no hay una preferencia entre la muestra de la formulación con pizza y con solamente 35% de brócoli. Esta prueba fue diseñada como una forma para poder ver si el sabor a pizza era lo suficiente para producir una preferencia por el producto en el consumidor, y observar si se enmascaraba el sabor. Sin embargo los resultados muestran que realmente no hay significancia, aunque los comentarios de los panelistas prefirieron la muestra con solamente harina de tronco de brócoli, ya que la textura crujiente y el sabor a brócoli la volvían más apetecible. La muestra con pizza fue rechazada ya que se sentía muy gruesa y era muy aguada, los panelistas también comentaron sobre la mezcla de sabores en donde no lograron identificar el sabor de la pizza.

A pesar de estos comentarios de los panelistas al realizar la evaluación de textura se observa que no hay diferencia entre cada formulación respecto al grosor de los nachos, penetración o dureza de los mismos, y diámetro, lo que se confirma con el análisis de varianzas realizado en los anexos I: Tablas #40 a #45, donde el F calculado es menor al F crítico por lo que no hay significancia de variación. Sin embargo es posible notar leves tendencias, como por ejemplo, en la formulación con tronco triturado existe una mayor penetración que las demás formulaciones, lo que implica que su dureza es menor. Esto se debe a que el tronco triturado tiene partículas mayores que como se observa en la imagen #1 pueden dar lugar a desbalances en la textura y causar transferencia de agua. Respecto al grosor, solo se observa que el de menor grosor fue la formulación 3, en comparación a los demás; esto pudo suceder al momento de amasar la mezcla y que se sobre amasara. En cuanto al diámetro, no existe diferencia más que la posibilidad de que algunos bordes de los nachos estuvieran aplastados o se levantaron al momento de la cocción.

Se puede mencionar entonces, que la formulación con tronco triturado fue preferida y aceptada y que sus características de textura fueron aceptables; aunque también se tuvo una preferencia por el sabor a brócoli en las formulaciones con 35%. Es recomendable realizar otro estudio sensorial en donde se haga una prueba duo-trío o triangular para observar

si realmente existe diferencias entre las muestras y si son captadas por el consumidor. También sería bueno modificar la formulación de los nachos colocando huevo o algún emulsificante que le otorgara textura y alguna otra especie para mejorar el sabor y ver si se enmascara el brócoli. El uso, en esta tesis, de la formulación utilizada fue simple ya que lo que se deseaba determinar era los efectos de la harina de tronco de brócoli. Si se bajaran los porcentajes de harina de tronco de brócoli puede que el sabor mejore, pero los nutrientes deseados como la proteína, capacidad antioxidante y vitamina C puede que no sean los suficientes para tener un efecto en el organismo. Sería recomendable también realizar análisis de vitamina C, polifenoles totales, capacidad antioxidante y biológica sobre lo mismo para saber si tiene algún efecto concreto sobre el organismo. También se recomienda realizar más estudios con tronco triturado ya que como se mencionó antes tuvo un efecto de preferencia en los panelistas y además tiene un mucho mejor rendimiento que la harina; el inconveniente sería la vida de anaquel y el modo de empaque que el tronco triturado debería tener.

VIII. CONCLUSIONES

- A. La harina de tronco de brócoli tiene potencial para ser usada como ingrediente alimenticio funcional por su contenido de nutriente ya que mantiene una cantidad proteica alta comparada con las harinas de trigo, arroz y maíz; también que la cantidad de carbohidratos ayuda a su capacidad de absorción de agua. La harina tiene una vida de anaquel de aproximadamente 9.3 meses en un empaque de polietileno.
- B. El método recomendado para el secado es escaldado por vapor, seguido de deshidratación por horno microondas debido a que luego de aplicarlo conserva contenido de vitamina C, es menos costoso y lleva menos tiempo. Se evaluó el costo del proceso de deshidratación en donde se determinó que el proceso con menos flujo másico, y mayor costo es el de liofilización, mientras que el de menor costo y flujo más rápido es el de deshidratación por horno de microondas. Los rendimientos obtenidos de la harina son muy bajos, debido a la cantidad de humedad que contiene el tronco originalmente y la deficiencia de boro que traen. Se retiene mayor porcentaje de tronco triturado a partir del desperdicio.
- C. Tanto la harina como el tronco triturado de brócoli pueden ser considerados como un alimento funcional por su capacidad antioxidante y contenido de vitamina C.
- D. La harina puede usarse como extensión de la harina de trigo y/o maíz para la elaboración de productos, debido a su distribución de partícula; también se determinó que la distribución de partícula de la harina es menor en tamaño con respecto a las harinas comerciales, sin embargo se puede mezclar especialmente con la harina de trigo todo uso, ya que son las de tamaño más similar.
- E. La concentración de Vitamina C es mayor cuando se utiliza la deshidratación por microondas, que al utilizar la deshidratación por horno de convección. La

liofilización también mantiene una concentración alta de vitamina C. El escaldado que mantiene una mayor concentración de Vitamina C es por microondas luego de la deshidratación por horno de convección; mientras que el escaldado por vapor ayuda a mantener una alta concentración en los procesos de liofilización y deshidratado por microondas. Una deshidratación por microondas a 1100W degrada en mayor cantidad compuestos importantes como vitamina C, y compuestos que promuevan tanto absorción de agua como aceite que a una potencia de 1200W.

- F. No existió una tendencia significativa en la cantidad de polifenoles totales encontrados en ambos tipos de tronco de brócoli; además cada proceso varió distintamente. La mayor concentración de polifenoles totales se encontró en la deshidratación por horno de convección en el tronco de ALCOSA y por horno microondas en el de Chimaltenango.
- G. La capacidad antioxidante del tronco de ALCOSA es menor a la del tronco de Chimaltenango y que estas diferencias pueden ser debido al grado de degradación por deficiencia de boro. Existe una tendencia en donde los procesos de liofilización y deshidratación por horno de microondas retienen una mayor capacidad antioxidante; sin importar el origen del tronco de brócoli. Existe una tendencia correlacionada en donde el proceso de deshidratación por horno de convección, luego de un escaldado provoca una disminución tanto en la cantidad de polifenoles totales y la capacidad antioxidante.
- H. Los índices de absorción de aceite varían de forma distinta conforme cada tipo de procesos y tipo de tronco de brócoli; mientras que los índices de absorción de agua se mantienen mayores en los procesos de liofilización. Los procesos de escaldado no afectan significativamente en los índices de absorción. La harina de tronco de brócoli tiene un índice de absorción de agua mayor a las harinas de trigo dura, suave, todo uso, maíz, yuca y arroz; mientras que el índice de absorción de aceite es similar a ellas.

- I. El análisis sensorial demostró que un alto porcentaje de harina de tronco en los nachos es fuerte pero aun así es preferido por el consumidor a utilizar otra harina para enmascararlo; debido a su textura y sabor. El uso de tronco triturado en lugar de harina puede ser preferido por los consumidores. La textura influyó mucho en la preferencia de los consumidores; a pesar de no haber determinado un cambio significativo en la incorporación de diferentes porcentajes de harina de tronco de brócoli en los nachos.

IX. RECOMENDACIONES

- A. Realizar el estudio pero con condiciones controladas de siembra y cosecha de los troncos para disminuir la deficiencia de boro y tener un tronco más estandarizado.
- B. Para evaluar mejor el método de polifenoles totales se recomendaría el uso de ácido gálico, método de antocianinas u otros métodos para comparar con los valores reportados por otros autores.
- C. Para evaluar tanta capacidad antioxidante como polifenoles totales se recomienda evaluar el proceso de escaldado antes de la liofilización también.
- D. Realizar prueba de vitamina C, polifenoles totales y capacidad antioxidante tanto en el tronco triturado como en los productos realizados como los nachos.
- E. Determinar minerales como hierro, calcio, magnesio, boro, etc., en la harina para comparar con otras.
- F. Realizar una prueba sensorial de diferencia para conocer si hay variaciones organolépticas entre distintas formulaciones de nachos especialmente entre la que contenía harina del tronco y tronco triturado de tronco.
- G. Realizar más análisis sobre el tronco triturado tanto de funcionalidad como de vitamina C, y antioxidantes, ya que es más viable trabajar con el rendimiento de ésta misma.
- H. Realizar un estudio biológico de la calidad proteica.
- I. Trabajar con el tronco triturado para desarrollar más productos y evaluarlos sensorialmente.

X. BIBLIOGRAFÍA

- Badui, Salvador. 2006. *Química de los alimentos*. 4ta edición. Mc-Graw Hill. México D. F. págs.: 716.
- Bahadoran, Zahra *et al.* 2012. *Broccoli sprouts powder could improve serum triglyceride and oxidized LDL/LDL-cholesterol ratio in type 2 diabetic patients: A randomized double-blind placebo-controlled clinical trial*. Diabetes Research and clinical practice vol. 96. Págs: 348-354
- Banerjee, Rituparna *et al.* 2012. *Antioxidant effects of broccoli powder extract in goat meat nuggets*. Meat Science vol. 91. Págs: 179-194.
- Basantes, Edwin. 2009. *Elaboración y Aplicación de dos tipos de Biol en el Cultivo de Brocoli (Brassica oleracea Var. Legacy)* Tesis. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba. Escuela de Ingeniería Agronómica. Págs. 123
- Brand-Williams W, *et al.* 1995. *Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. Food Science and Technology, Vol; 28 pp:25-30.*
- Chen, B. *et al.* 2012. *Formation and microstructural characterization of whey protein isolate/beet pectin coacervations by laccase catalyzed cross linking*. Food Science and Technology. Vol. 47. Págs.: 31-38
- Chica, B. Osorio, S. 2003. *Determinación de la vida de anaquel del chocolate de mesa sin azúcar en una película de polipropileno biorientado*. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería y Arquitectura. Colombia.
- Colorado State University. 2008. *Broccoli Facts*. Colorado. Crop Block Grant Program. págs. 2
- Da Silva. P, *et al.* 2008. *Vacuum frying of hig-quality fruit and vegetable based snacks*. Food Science and Technology Vol. 41. Págs.: 1758-1767
- Dapcevic, T. *et al.* 2011. *Rheological properties of wheat flour substitutes/alternative crops assessed by Mixolab*. Procedia Food Science. Vol. 1. Págs: 328-334.
- Elías, Luis. 2012. *Concepto y tecnologías para la elaboración y uso de harinas compuestas*. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá. Guatemala. Págs. 3
- Fahley, J. 2003. *Brassicac*s. Elsevier Science Ltd. Baltimore. Págs: 606-615.

- FAO, 2013. *Amino-acid content of foods and biological data on proteins*.
<http://www.fao.org/docrep/005/AC854T/AC854T00.htm>
- FAO, 2004. *El Arroz y la Nutrición Humana*. Roma. Págs: 2
- Hernández, Elizabeth. 2005. *Evaluación Sensorial*. Universidad Nacional Abierta y Adistancia. Bogotá. págs.: 128
- Huang, M. *et al.* 1994. *Food Phytochemicals for Cancer Prevention I, Fruits and Vegetables*. American Chemical Society. Washington D. C. págs.: 181-191.
- Instituto Nacional de Estadística (INE) de Guatemala, 2012. *Población en Guatemala*.
<http://www.ine.gob.gt/np/poblacion/index.htm>
- Instituto Tecnológico Superior de Calkini el Estado de Campeche. 2012. *Deshidratación: secado y liofilización*. ITESCAM. Campeche. Págs.: 25
- Linares, Heidy. 2006. *Brócoli*. Ministerio de Economía de Guatemala. Guatemala. Págs. 4
- Mahn, Andrea *et al.* 2012. *Optimization of a process to obtain selenium-enriched freeze-dried broccoli with high antioxidant properties*. Food Science and Technology Vol 47. Págs: 7
- Maldonado, R. Pacheco-Delahaye. E. 2003. *Curvas de deshidratación del brócoli (Brassica oleraceae L var. Italica Plenck) y coliflor (Brassica oleraceae L Var. Botrytis L)* Revista de Facultad Agronomía. Universidad Central de Venezuela. Vol. 20 págs: 306-319.
- Matusheski, Nathan *et al.* 2004. *Heating decreases epithiospecifier protein activity and increases sulforophane formation in broccoli*. Phytochemistry vol. 65 págs : 9
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. 2011. *El Agro en Cifras*. Gobierno de Guatemala. Guatemala. Págs.: 48
- Ocampo, Jaime. 2003. *Determinación de la vida de anaquel del café soluble elaborado por la empresa DeCAFÉ S.A. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto*. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Colombia.
- Ozkan, A. *et al* 2005. *Microwave drying characteristics of spinach*. Journal of Food Engineering. Vol. 78. págs: 577-583.
- Pacheco, E., Testa, G. 2005. *Evaluación nutricional, física y sensorial de panes de trigo y plátano verde*. Interciencia. Vol. 30. Págs: 300-304

- Pal Vig, Adarsch *et al.* 2009. *Bio-protective effects of glucosinolates- A review*. Food Science and Technology Vol 42. Págs: 12
- Petersen, Claire. 2009. *Factors affecting the composition and quality of broccoli juice*. Tesis. Massey University. Palmerston. Págs. 151
- Pinto, Joao. 2010. *Myrosinase Stability in Broccoli (Brassica oleracea var. Italica)*. Tesis. Instituto Superior de Agronomia. Universidad Técnica de Lisboa. Lisboa. Págs: 90
- Podsedek, Anna. 2005. *Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review*. Institute of technical Biochemistry. Poland. (1-11). Págs:11
- Reyes, José *et al.* 2005. *Blanching of foods*. Encyclopedia of Agricultural, food, and Biological engineering. Págs: 5
- Rocca, Patricia. 2010. *Secado de alimentos por métodos combinados: Deshidratación osmótica y secado por microondas y aire caliente*. Tesis. Universidad Tecnológica Nacional. Buenos Aires. Pp: 213
- Sanjuán, Nieves *et al.* 2001. *The effect of blanching on the quality of dehydrated broccoli florets*. European Food research Technology. Vol. 213. Págs: 474-479
- Silva, E. *et al* 2012. *Controlling rheology and structure of sweet potato starch noodles with broccoli powder content by hydrocolloids* Food Hydrocolloids vol. 30. Págs: 42-52
- Silva, E. *et al* 2012. *Influence of swelling of vegetable particles on structure and rheology of starch matrices*. Journal of Food Engineering vol. 112 págs: 168-174
- Silva, W. *et al.* 2003. *Evaluación Biológica en ratas de Laboratorio (Rattus norvegicus) de Fuentes Proteicas usadas en alimentos comerciales para perros*. Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú. Vol. 14. Págs: 18-23.
- Simmons, D. 1961. *Variations in the amino acid composition of Australian wheats and flours*. University of Adelaide. Adelaide. Vol. 39. Págs: 445-454
- Torres, Roberto *et al.* 1999. *Comportamiento de variedades de arroz en la elaboración de pan sin gluten*. Archivos Latinoamericanos de nutrición. Vol. 49. Págs.: 4.
- UNICEF. 2007. *Desnutrición crónica: El enemigo silencioso*. Guatemala. Págs.: 41
- University of Kentucky. 2010. *Broccoli*. Kentucky. Crop Diversification & Biofuel Research Education Center. Págs 3.
- USDA. 1994. *Broccoli: an economic assessment of the Feasibility of Providing Multiple-Peril Crop Insurance*. Estados Unidos. Págs. 50

- USDA. 2008. *Broccoli, Shipping Point and Market Inspection Instructions*. Estados Unidos. Págs. 48
- Valenzuela, Mariana. 2010. *Composición química, valor nutricional y desarrollo de productos de harinas de flor, tallo y tronco de brócoli*. Tesis. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. Facultad de Ingeniería. Págs. 66
- Vega-Mercado, H. *et al.* 2001. *Advances in dehydration of foods*. Journal of Food Engineering vol 49. Págs: 271-289.
- Viena L, *et al.* 1993. *Estudio de las propiedades funcionales de aislado proteínico de torta de coco*. *Folia Amazonica*. Vol.5 Págs:129-137.
- Volden, J. *et al.* 2008. *Effect of thermal treatment on glucosinolates and antioxidant-related parameters in red cabbage (*Brassica oleracea L.ssp. capitata f. rubra*)*. Food Chemistry Vol. 109. Págs. 595-605
- Wambui, Ann *et al.* 2009. *Application of thermal inactivation of enzymes during vitamin C analysis to study the influence of acidification, crushing and blanching on vitamin C stability in Broccoli (*Brassica oleracea L var. italica*)* Food Chemistry. Vol. 120 págs: 591-598.

ANEXOS

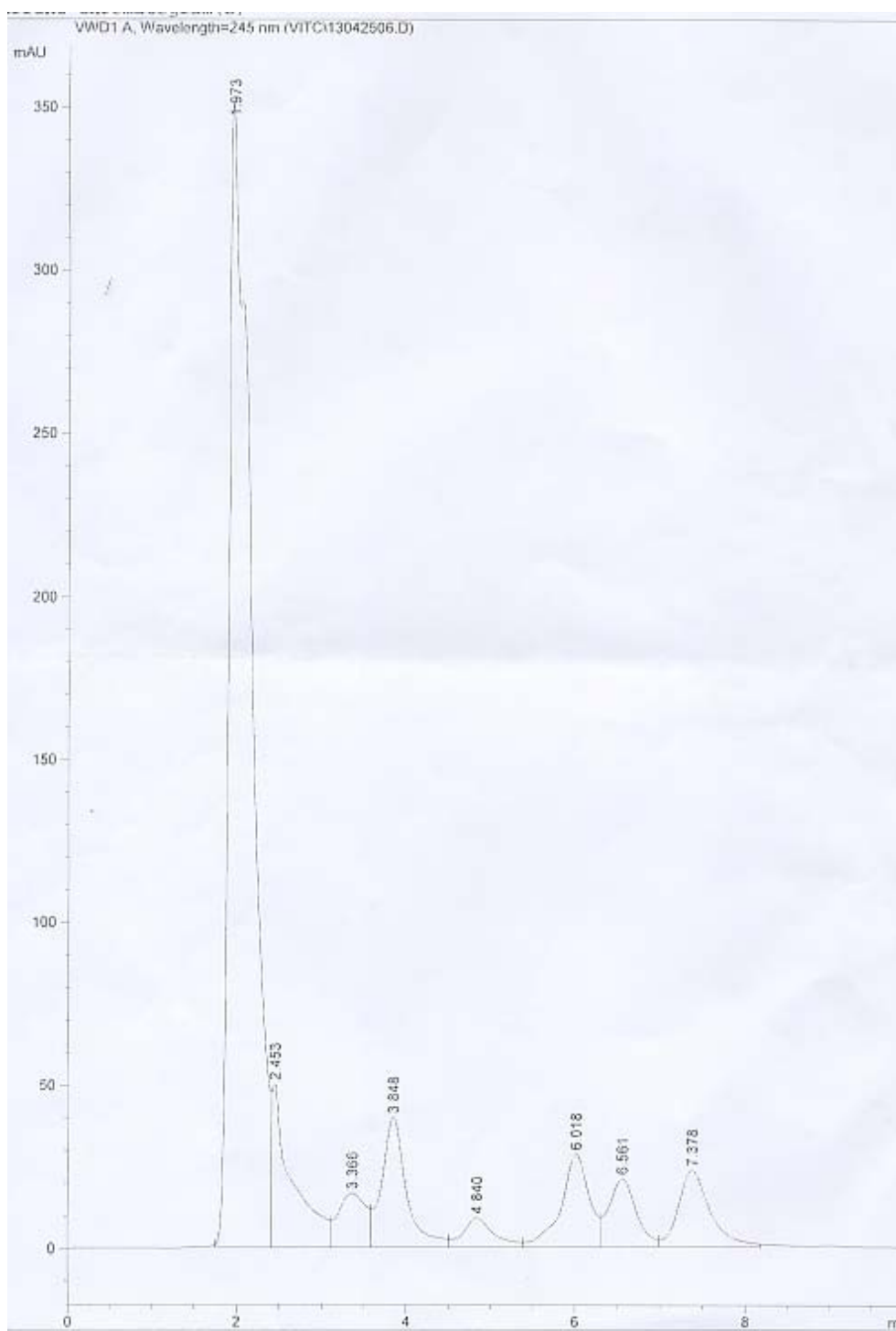
Tabla # 11: Análisis de varianzas de concentraciones de vitamina C realizado con la herramienta de Excel 2013.

| | Fuente de variación | SS | df | MS | F | Valor-P | F critico |
|--|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| | Entre grupos | 340.5402 | 16 | 21.28376 | 13.23377 | 1.35E-06 | 2.2888 |
| | Dentro de Grupos | 27.34096 | 17 | 1.608291 | | | |
| | | | | | | | |
| | Total | 367.8812 | 33 | | | | |

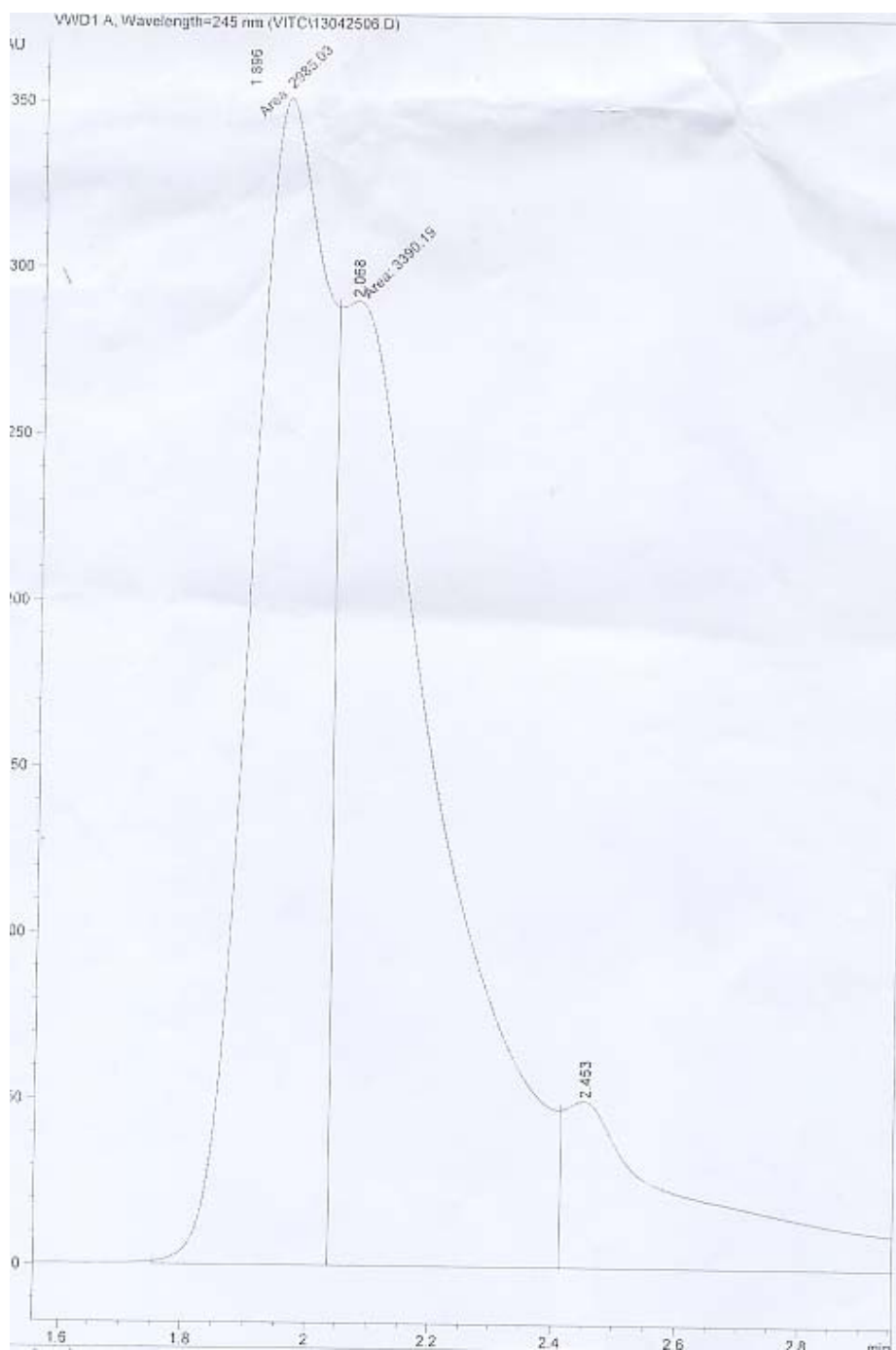
Tabla # 12: Varianzas de concentraciones de vitamina C calculadas por Excel 2013.

| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
|---------------|---------------|-------------|-----------------|-----------------|
| NE | 2 | 9.612282 | 4.806141 | 0.804829 |
| OEVL | 2 | 19.63312 | 9.816559 | 0.213367 |
| ONEL | 2 | 19.86993 | 9.934964 | 0.017044 |
| EVM | 2 | 17.4643 | 8.732149 | 0.415724 |
| NEL | 2 | 14.20098 | 7.100489 | 0.131487 |
| OEA | 2 | 16.53599 | 8.267993 | 0.131047 |
| ONEM | 2 | 20.61985 | 10.30993 | 0.067491 |
| EVL | 2 | 21.6747 | 10.83735 | 0.070878 |
| EV | 2 | 4.168893 | 2.084446 | 0.432671 |
| OEVM | 2 | 26.01578 | 13.00789 | 4.380812 |
| NEMA | 2 | 16.82664 | 8.413318 | 1.226705 |
| OEM | 2 | 28.69372 | 14.34686 | 8.663322 |
| EM | 2 | 21.41293 | 10.70646 | 0.322052 |
| EA | 2 | 7.596164 | 3.798082 | 0.310626 |
| ONE | 2 | 26.68952 | 13.34476 | 9.013531 |
| OEV | 2 | 18.60571 | 9.302856 | 0.066074 |
| NEMB | 2 | 17.40991 | 8.704955 | 1.073294 |

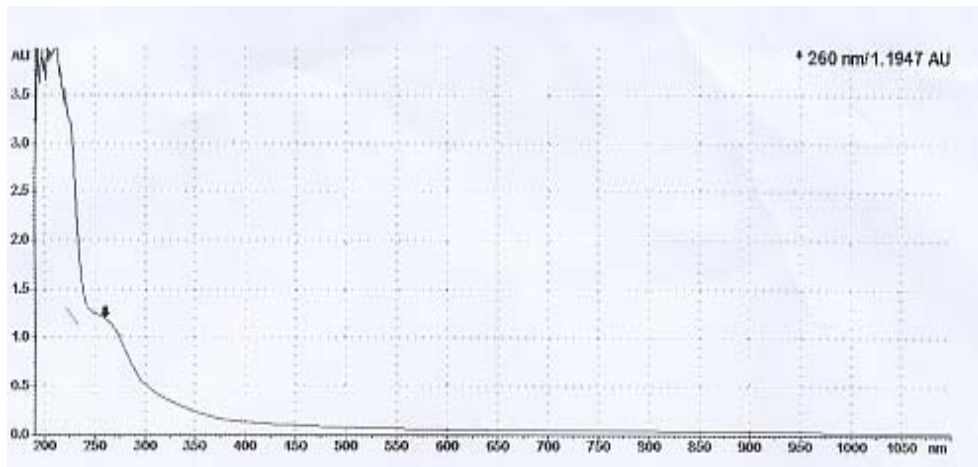
Cromatograma # 1: Realizado para el análisis de vitamina C



Cromatograma # 2: Realizado para integración en análisis de vitamina C



Espectro # 1: Concentración de vitamina C en muestra



Espectro # 2: Concentración de vitamina C en estándar.

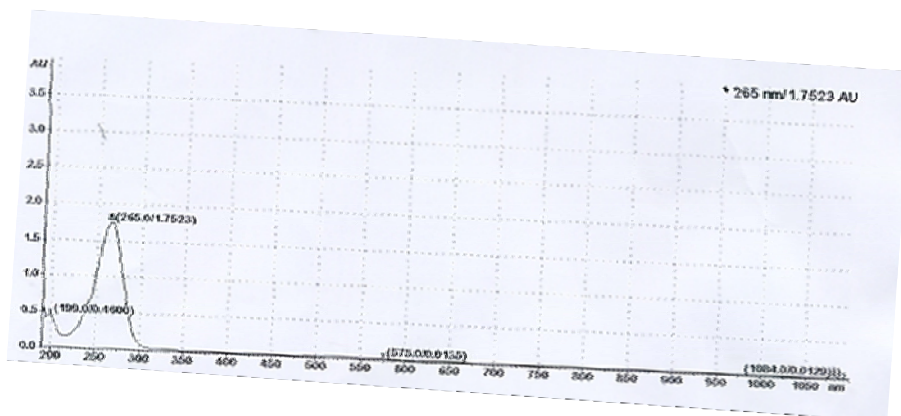
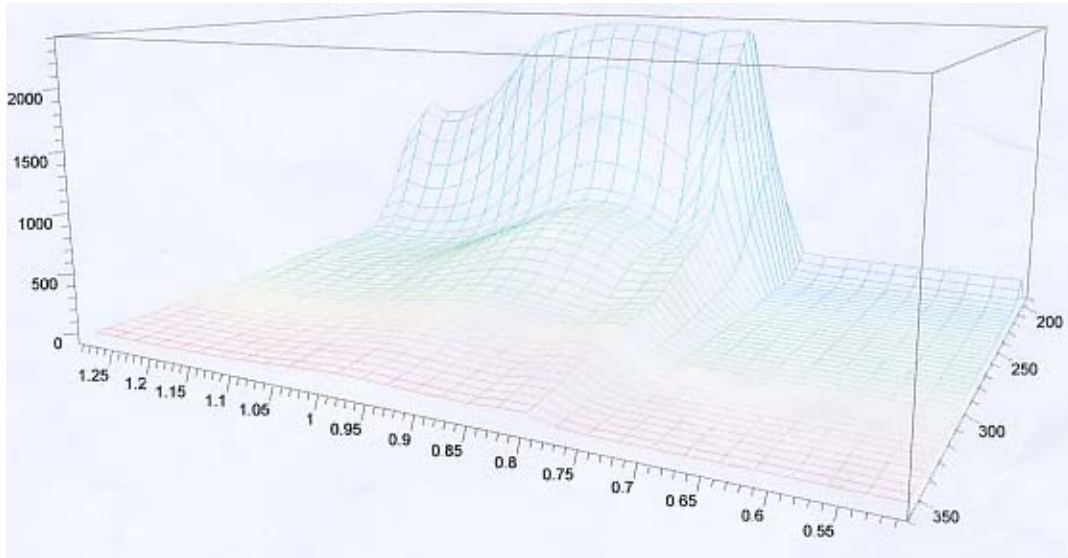
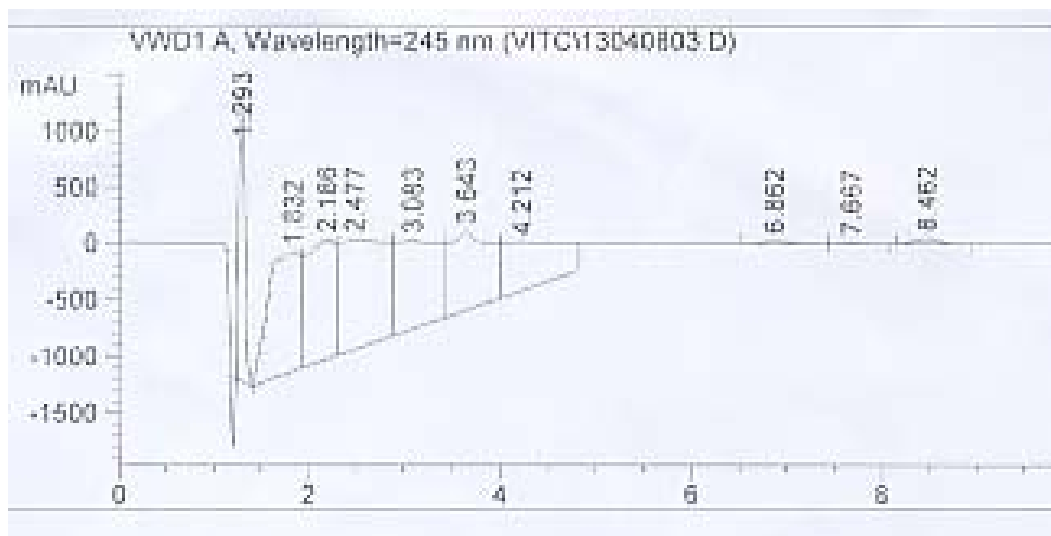


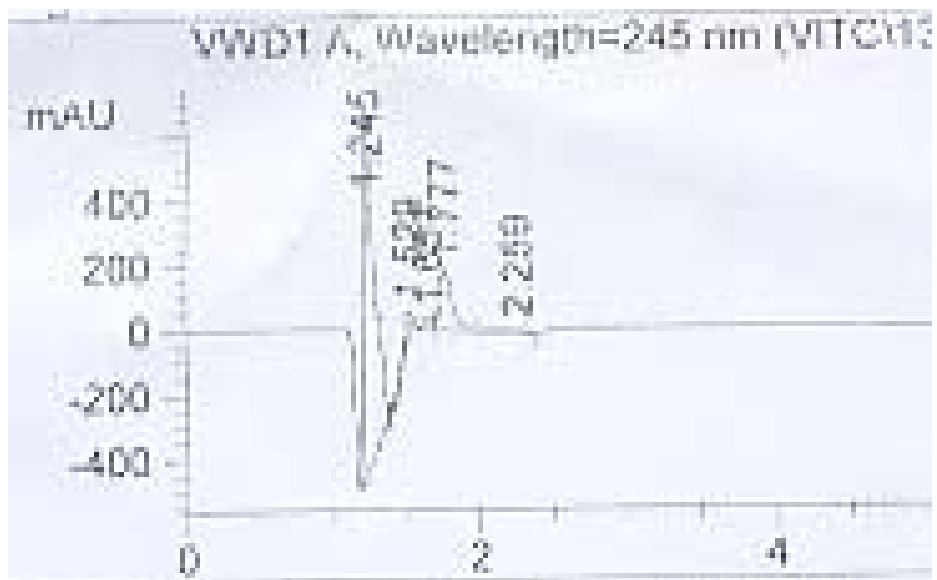
Imagen # 2: Gráfica 3D por cromatógrafo de diodos, para concentración de vitamina C en muestra.



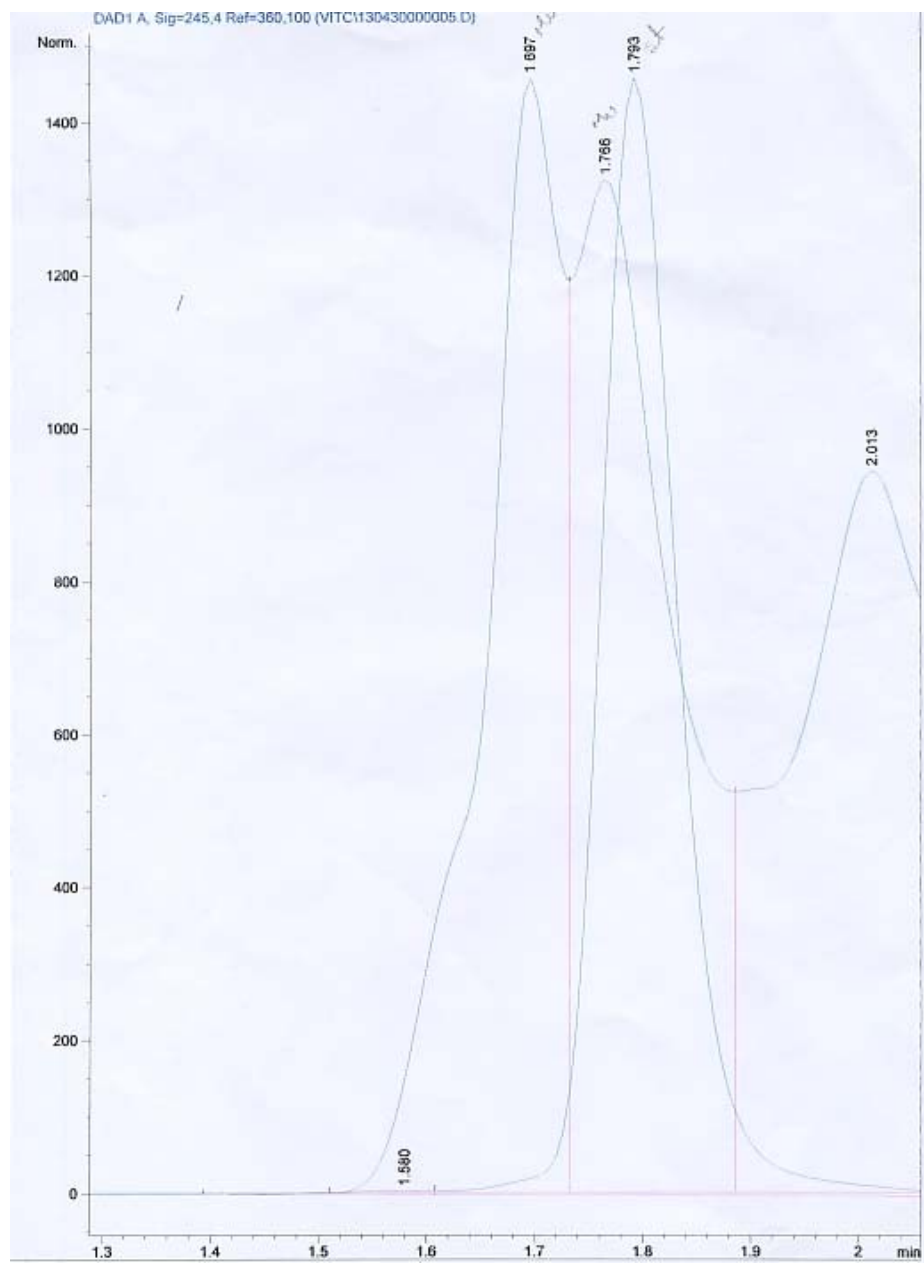
Cromatograma # 3: Concentración de vitamina C en muestra de harina



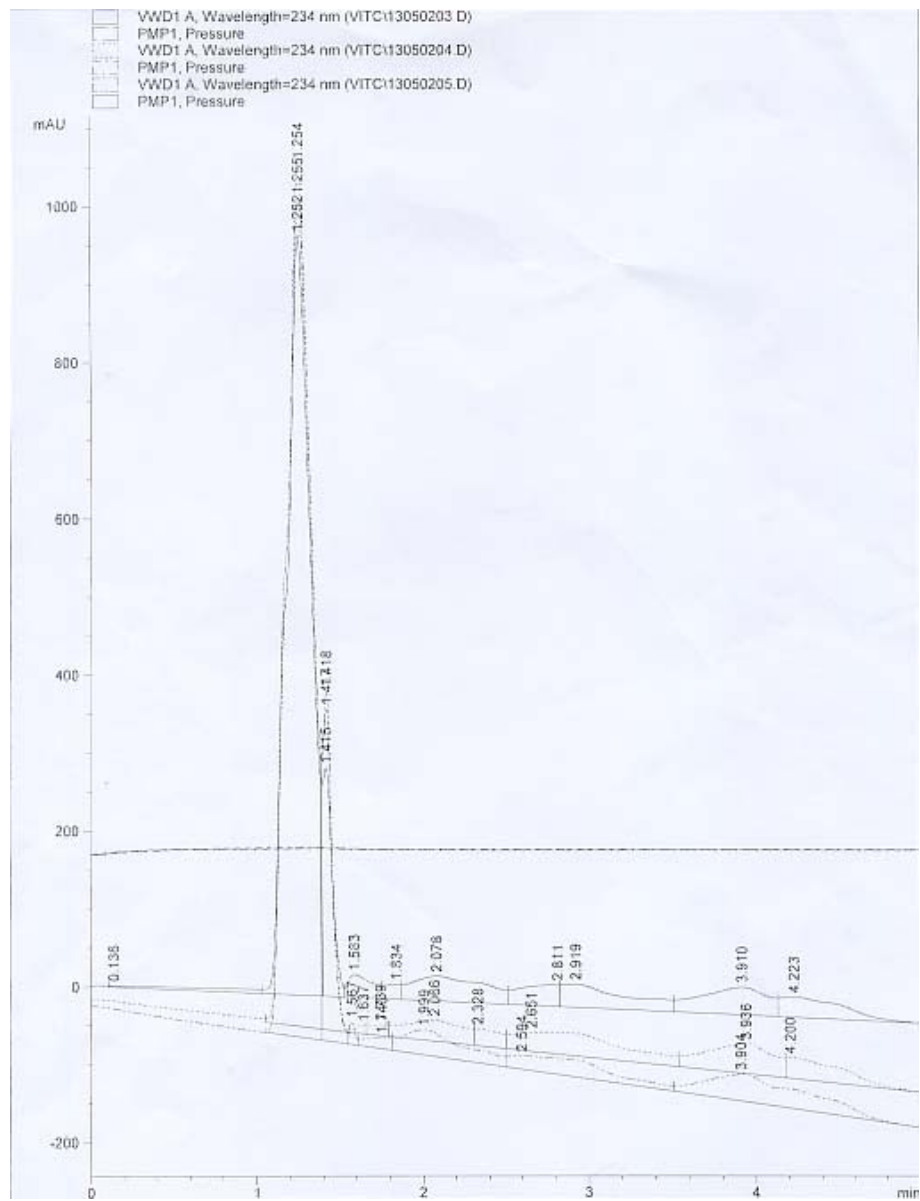
Cromatograma # 4: Concentración de estándar de ácido ascórbico



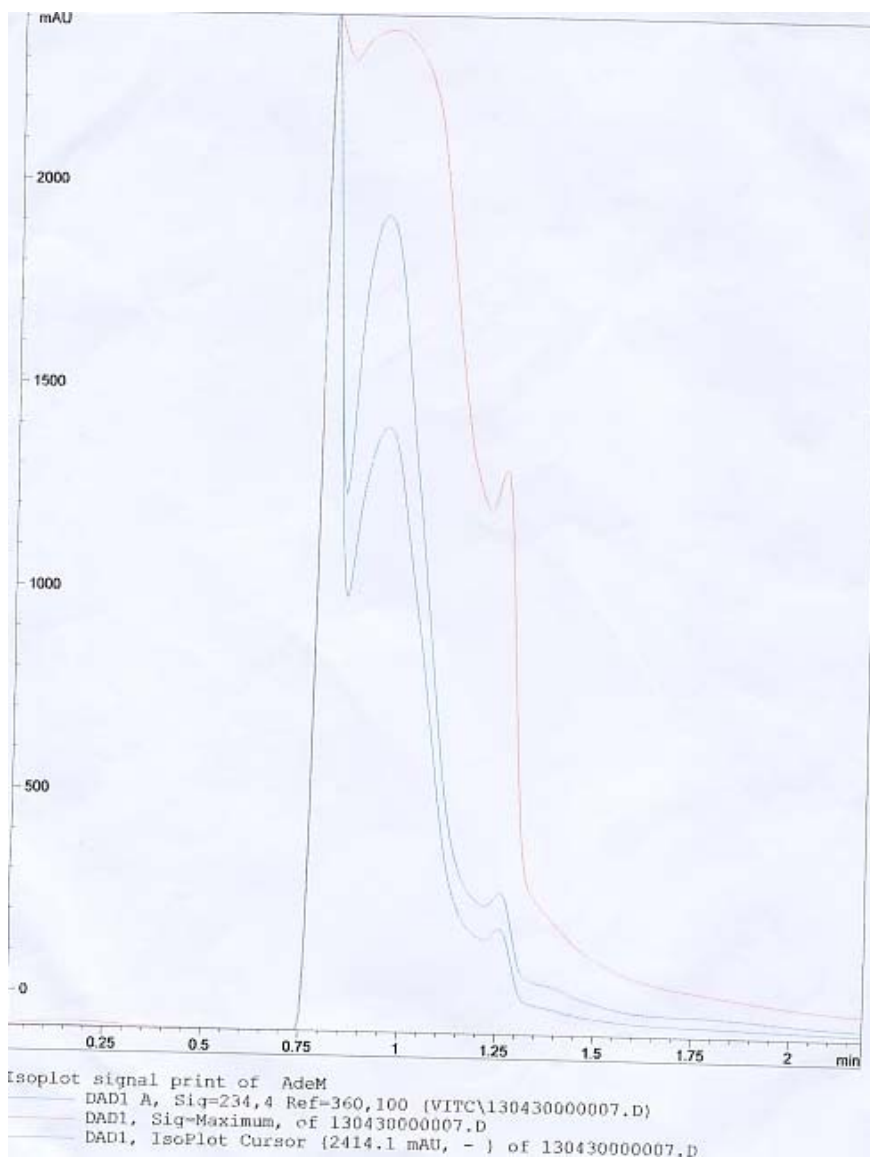
Cromatograma # 5: Concentraciones de vitamina C en muestras



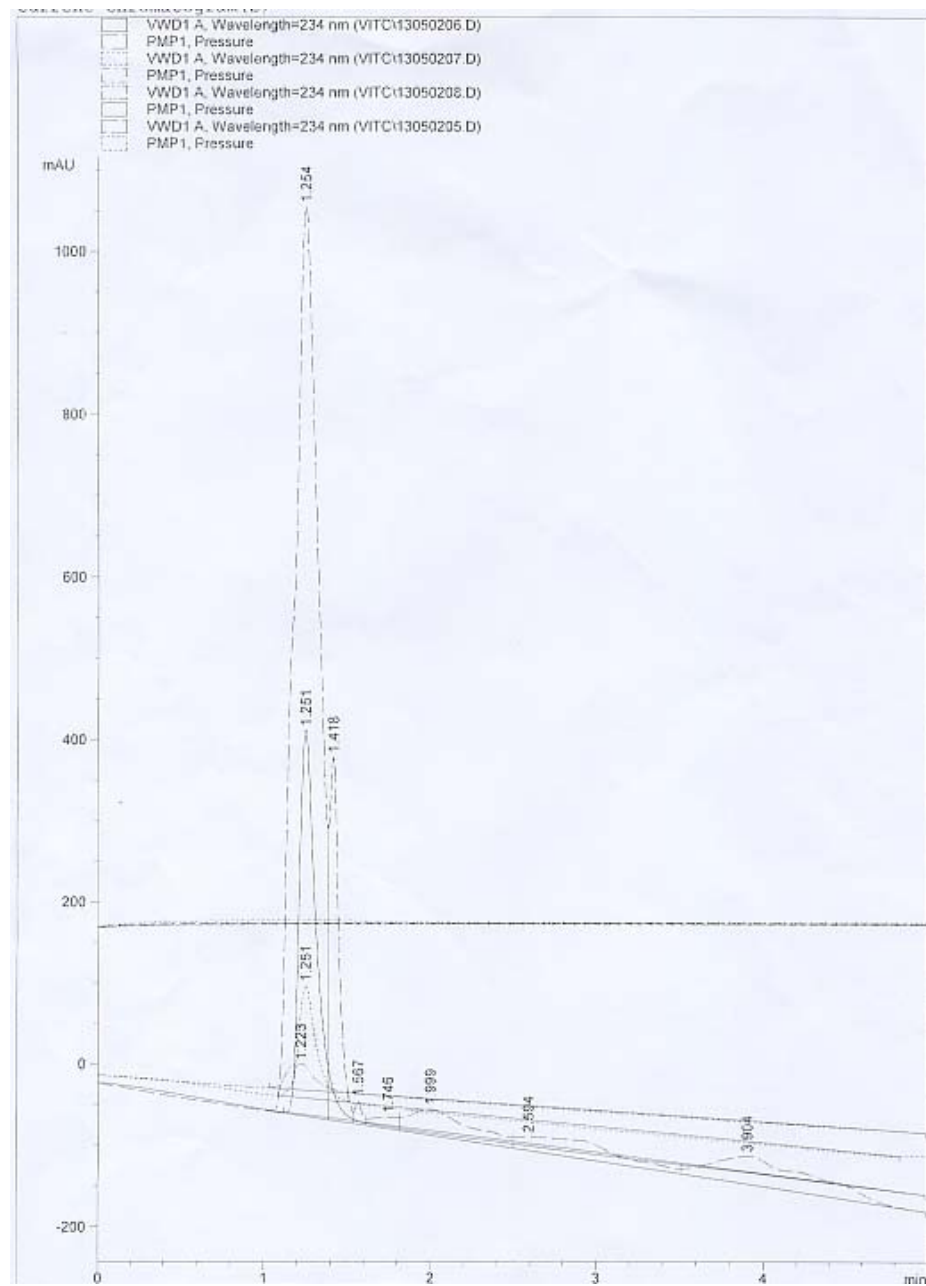
Cromatograma # 6: Concentración de vitamina C en muestra por método 2



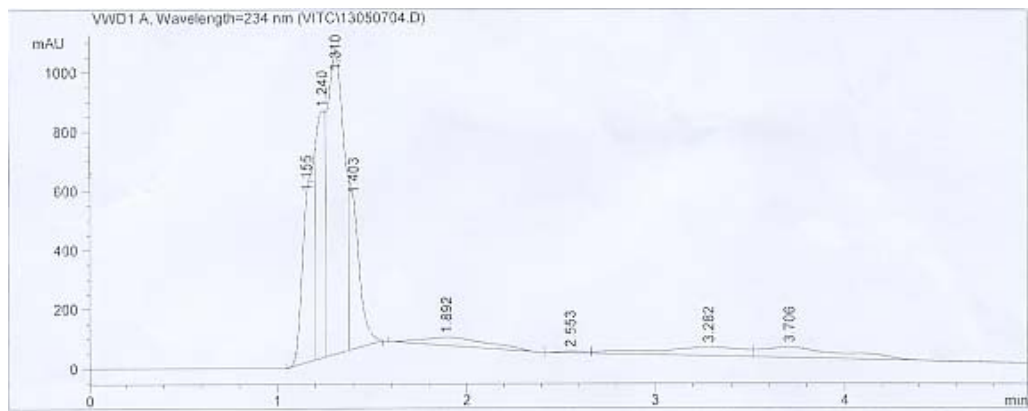
Cromatograma # 7: Diferencia en concentración de vitamina C en muestra



Cromatograma # 8: Concentración de vitamina C en muestras



Cromatograma # 9: Muestra ejemplo de concentración de vitamina C en muestra de harina a 234nm



Cromatograma # 10: Muestra ejemplo 2 de concentración de vitamina C en muestra de harina a 234nm

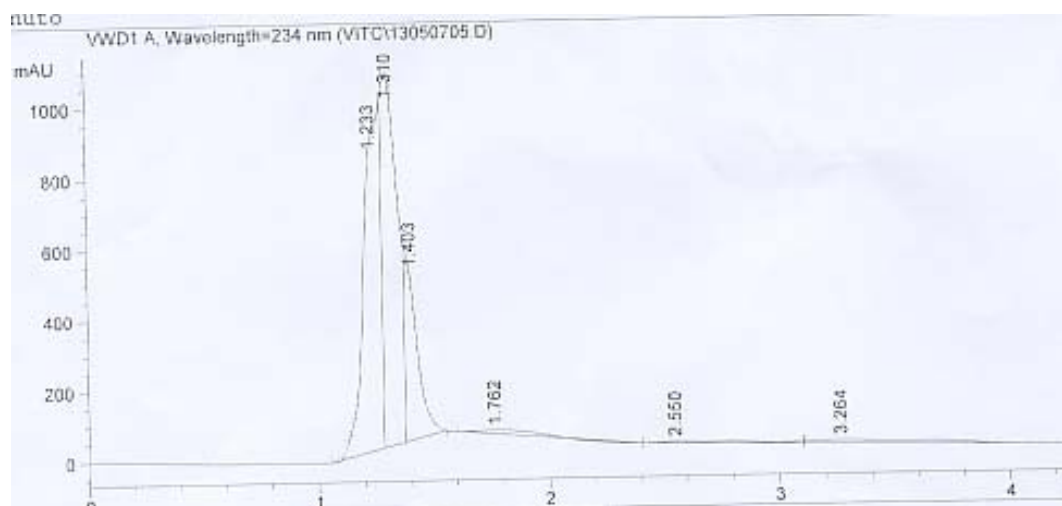
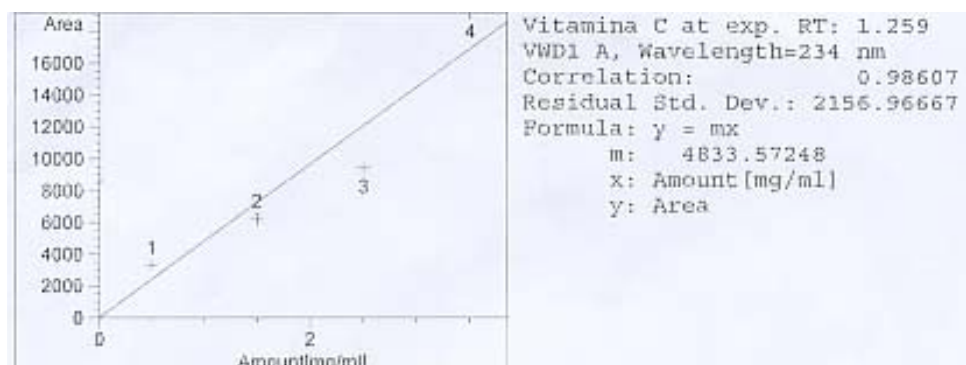


Imagen # 3: Datos de curva de calibración de ácido L-ascórbico

| RetTime [min] | Lvl Sig | Amount [mg/ml] | Area | Amt/Area | Ref Grp Name |
|------------------|------------|-------------------|------------|------------|--------------|
| 1.259 | 1 | 5.00000e-1 | 3272.08130 | 1.52808e-4 | Vitamina C |
| | 2 | 1.50000 | 6204.83789 | 2.41747e-4 | |
| | 3 | 2.50000 | 9411.87891 | 2.65622e-4 | |
| | 4 | 3.50000 | 1.91520e4 | 1.82748e-4 | |

Gráfica # 12: Curva de calibración para vitamina C usando ácido L-ascórbico como estándar.



Gráfica # 13: Curva de catecol, concentración de catecol vs. absorbancia por F.C., ecuación de recta y R.

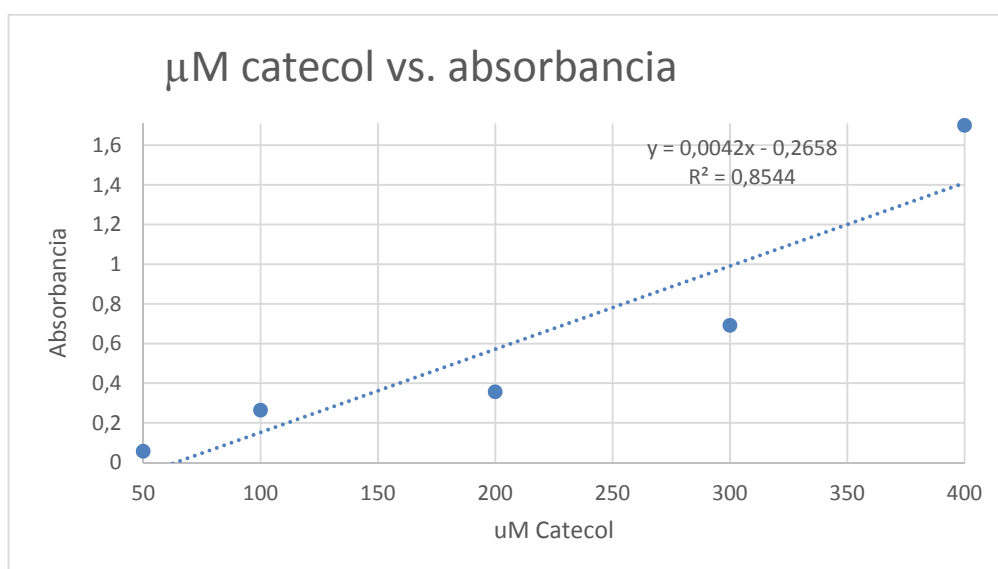


Tabla # 14: Análisis de varianzas de concentraciones de equivalentes de catecol realizado con la herramienta de Excel 2013.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Valor-P</i> | <i>F critico</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 105849.4 | 6 | 17641.56 | 8.643974 | 0.005914 | 3.865969 |
| Dentro de grupos | 14286.36 | 7 | 2040.908 | | | |
| Total | 120135.7 | 13 | | | | |

Tabla # 15: Varianzas de concentraciones de equivalentes de catecol calculadas por Excel 2013.

| <i>Grupos</i> | <i>Cuenta</i> | <i>Suma</i> | <i>Promedio</i> | <i>Varianza</i> |
|---------------|---------------|-------------|-----------------|-----------------|
| NEL | 2 | 1247.397 | 623.6987 | 2124.245 |
| ONEL | 2 | 1213.838 | 606.919 | 2434.269 |
| NE | 2 | 1299.77 | 649.8848 | 1042.801 |
| ONE | 2 | 1148.586 | 574.2928 | 2652.156 |
| NEM | 2 | 1238.269 | 619.1344 | 3155.365 |
| ONEM | 2 | 1718.016 | 859.0081 | 1434.213 |
| OEV | 2 | 1281.275 | 640.6375 | 1443.31 |

Tabla # 16: Tiempo de proceso utilizado por muestra

| Proceso | ALCOSA Patzún, Chimaltenango | Chimaltenango |
|---|---|----------------------|
| | Tiempo en horas | |
| No escaldado deshidratado por horno | 14.00 | 14.00 |
| Escaldado por agua deshidratado por horno | 14.00 | 14.00 |
| Escaldado por vapor deshidratado por horno | 14.00 | 14.00 |
| Escaldado por microondas deshidratado por horno | 14.00 | 14.00 |
| No escaldado deshidratado por micro ondas a 1200W | 0.48 | 0.83 |
| No escaldado deshidratado por microondas a 1100W | 0.70 | |
| Escaldado por vapor deshidratado por microondas | 0.62 | 0.83 |
| No escaldado liofilizado | 23.50 | 28.98 |
| Escaldado por vapor liofilizado | 31.61 | 23.50 |

Tabla # 17: Humedad de tronco triturado

| | Humedad% | |
|--------------------------------|----------|-----------|
| ALCOSA (Patzún, Chimaltenango) | 92% | ±1.06E-02 |
| Chimaltenango | 94% | ±2.94E-03 |

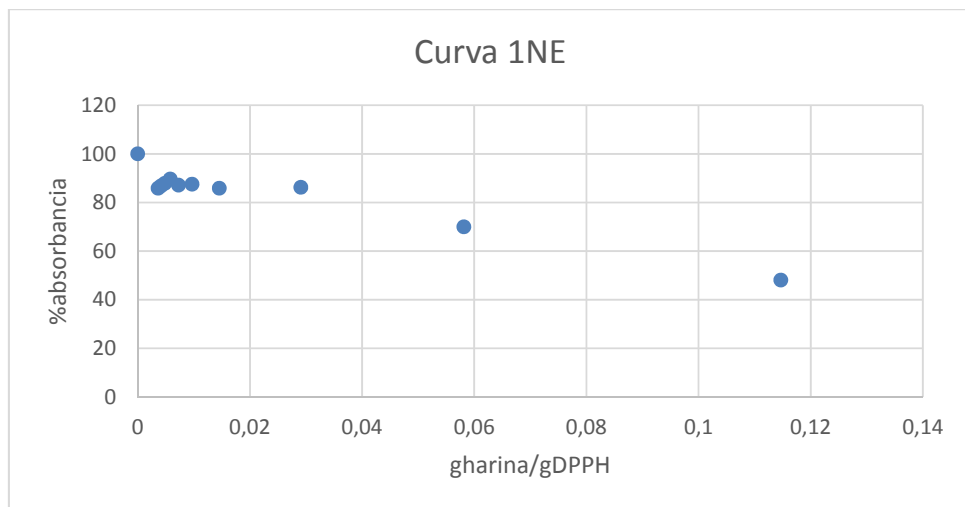
Tabla # 18: Análisis de varianzas de 1/EC50s realizado con la herramienta de Excel 2013.

| <i>Fuente de variación</i> | <i>SS</i> | <i>df</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Valor-P</i> | <i>F critico</i> |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 0.024882 | 6 | 0.004147 | 61.49635 | 1.06E-05 | 3.865969 |
| Dentro de grupos | 0.000472 | 7 | 6.74E-05 | | | |
| | | | | | | |
| Total | 0.025355 | 13 | | | | |

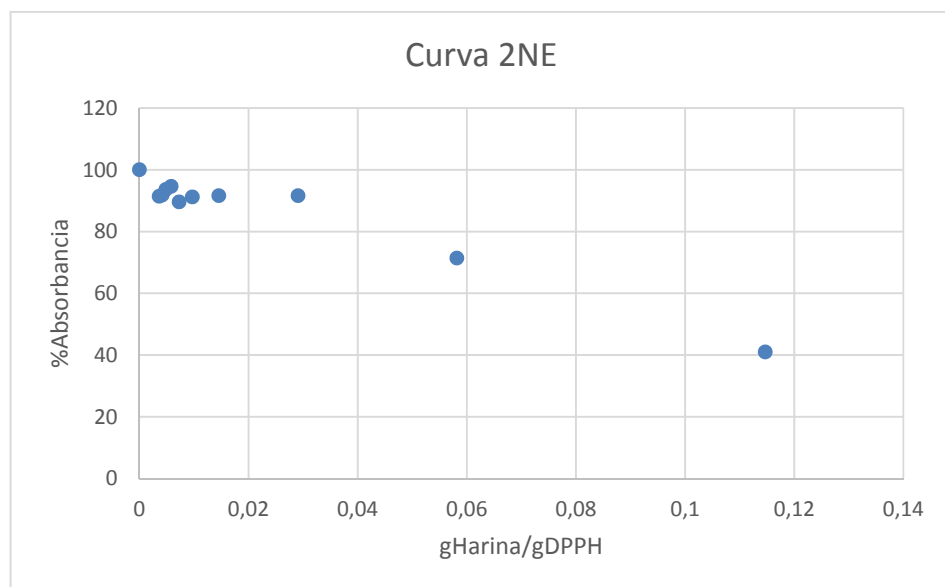
Tabla # 19: Varianzas 1/EC50s calculadas por Excel 2013.

| <i>Grupos</i> | <i>Cuenta</i> | <i>Suma</i> | <i>Promedio</i> | <i>Varianza</i> |
|---------------|---------------|-------------|-----------------|-----------------|
| NE | 2 | 0.202066 | 0.101033 | 3.17E-05 |
| ONE | 2 | 0.186157 | 0.093078 | 1.62E-05 |
| NEL | 2 | 0.149048 | 0.074524 | 1.62E-06 |
| ONEM | 2 | 0.106565 | 0.053282 | 6.68E-07 |
| NEM | 2 | 0.193156 | 0.096578 | 0.000412 |
| ONEL | 2 | 0.075171 | 0.037585 | 4.82E-07 |
| OEV | 2 | 0.358164 | 0.179082 | 9.08E-06 |

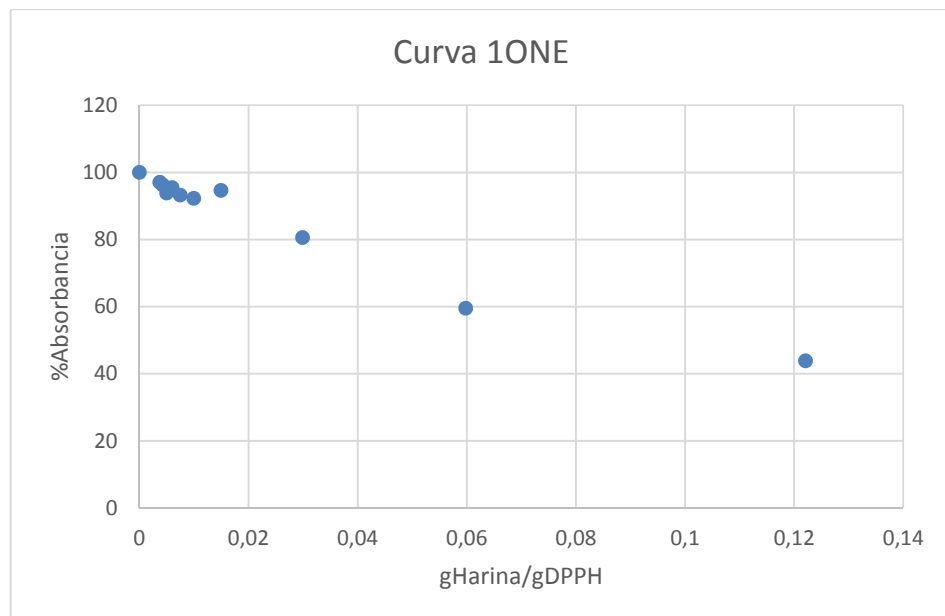
Gráfica # 14: Curva DPPH muestra NE 1



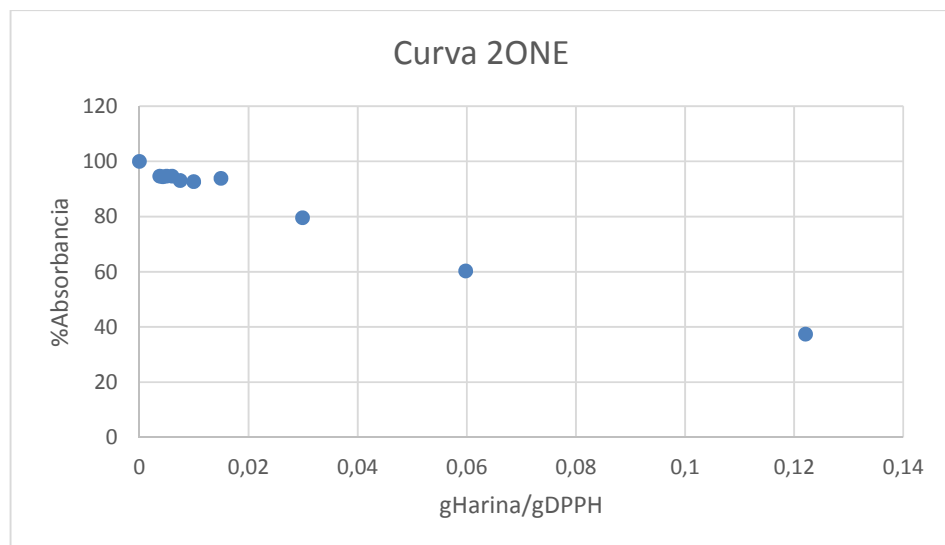
Gráfica # 15: Curva DPPH muestra NE 2



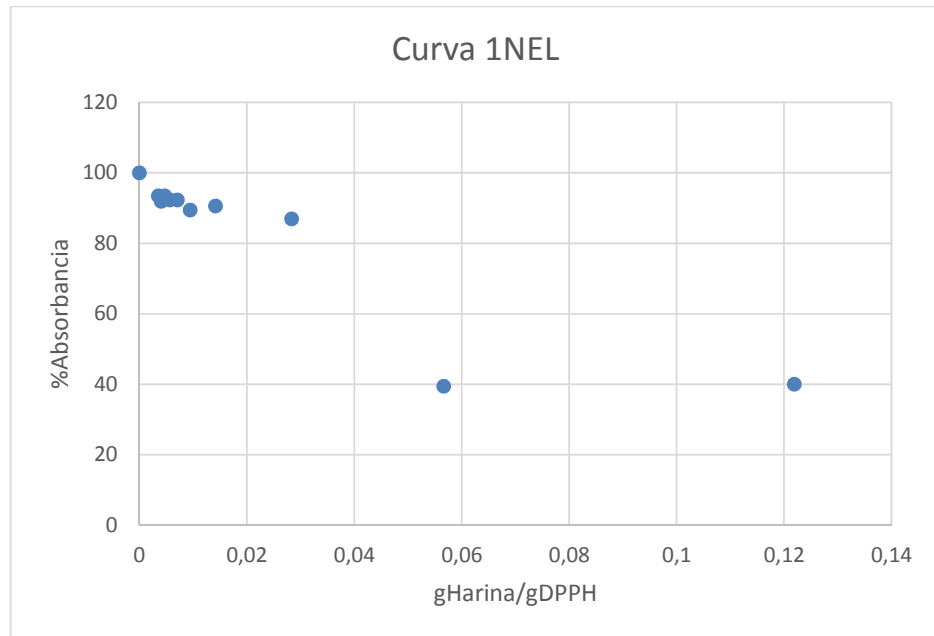
Gráfica # 16: Curva DPPH muestra ONE 1



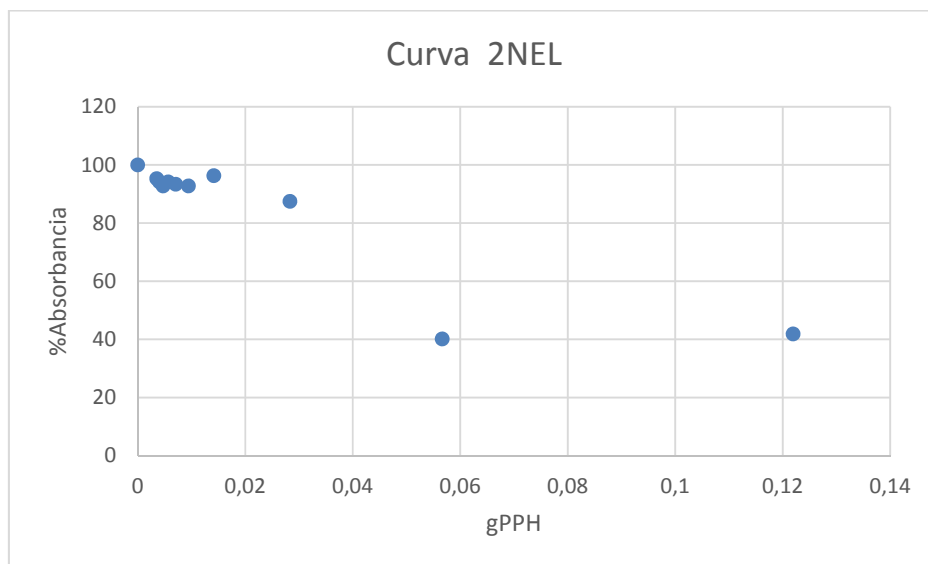
Gráfica # 17: Curva DPPH muestra ONE 2



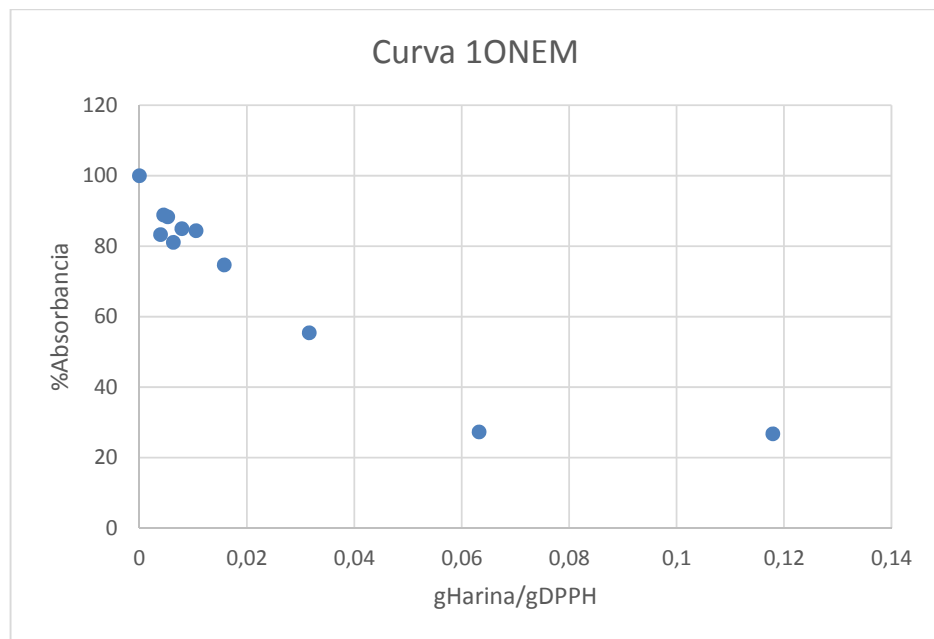
Gráfica # 18: Curva DPPH muestra NEL 1



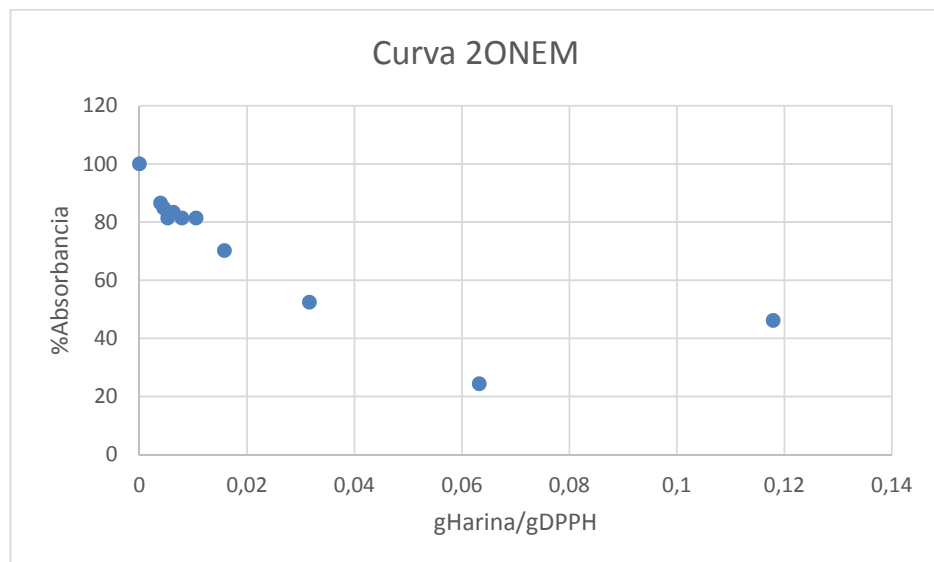
Gráfica # 19: Curva DPPH muestra NEL 2



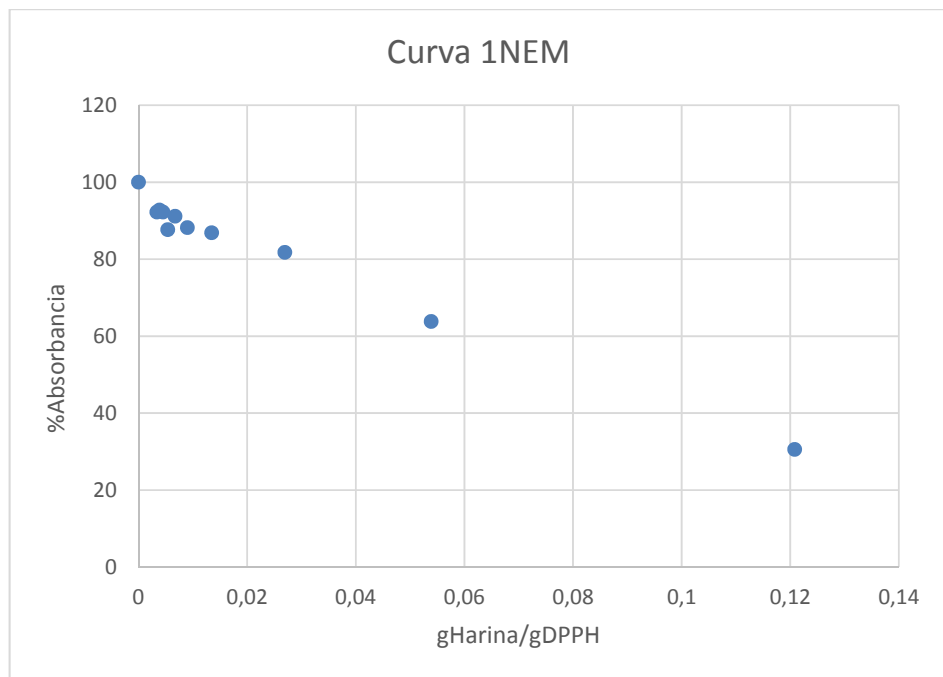
Gráfica # 20: Curva DPPH muestra ONEM 1



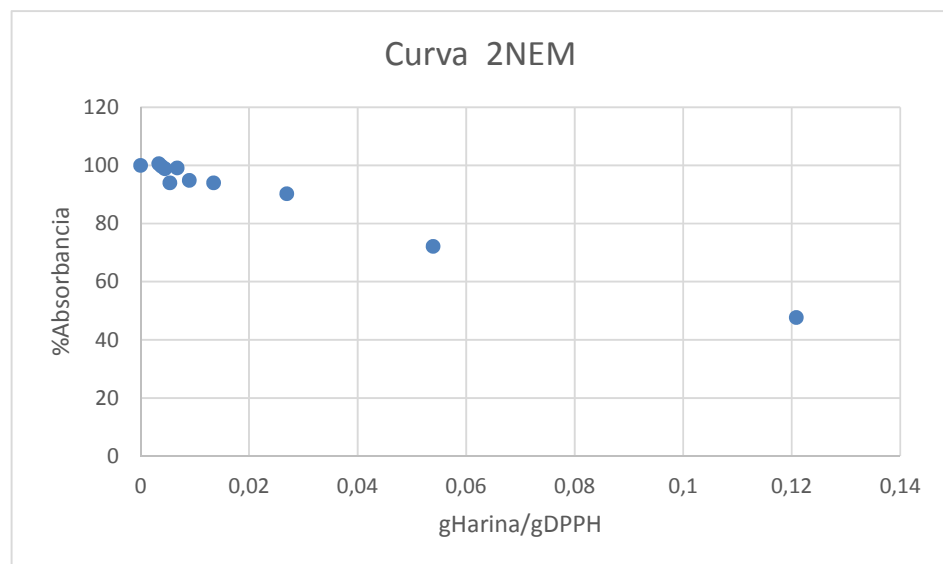
Gráfica # 21: Curva DPPH muestra ONEM 2



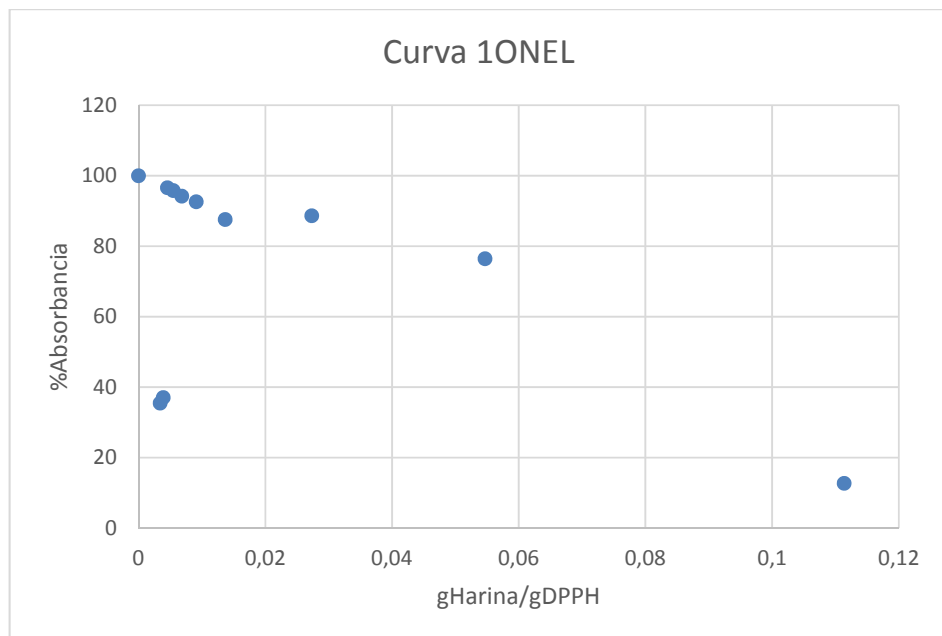
Gráfica # 22: Curva DPPH NEM 1



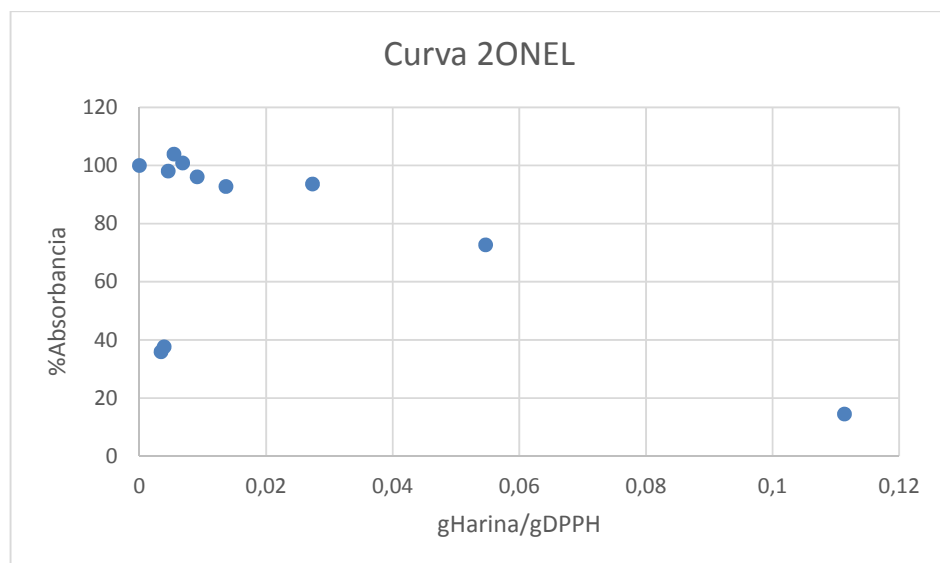
Gráfica # 23: Curva DPPH muestra NEM 2



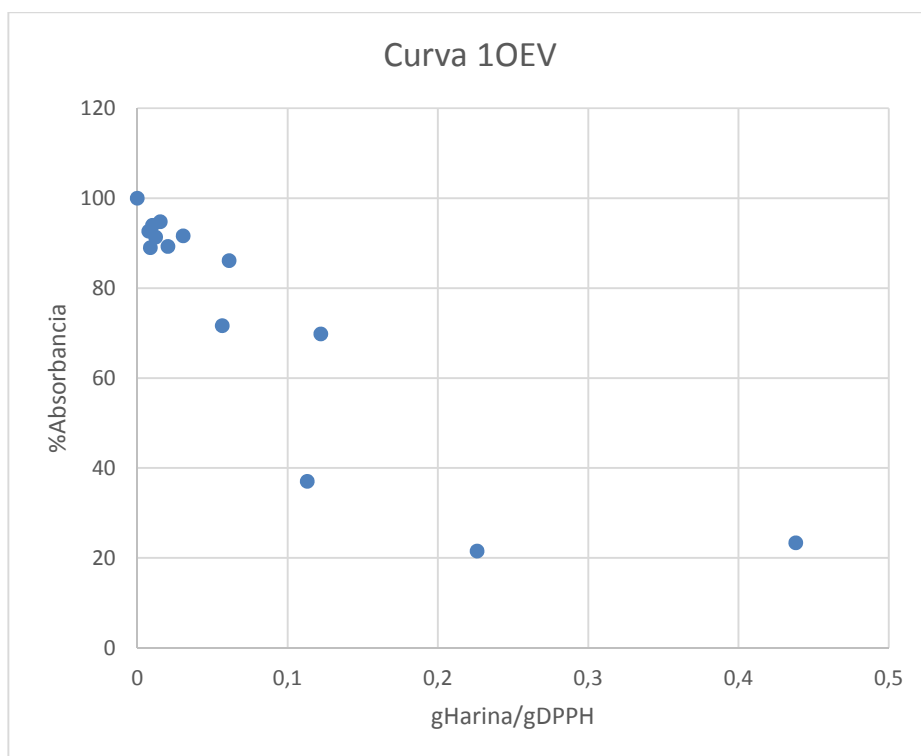
Gráfica # 24: Curva DPPH muestra ONEL 1



Gráfica # 25: Curva DPPH muestra ONEL 2



Gráfica # 26: Curva DPPH muestra OEV 1



Gráfica # 27: Curva DPPH muestra OEV 2

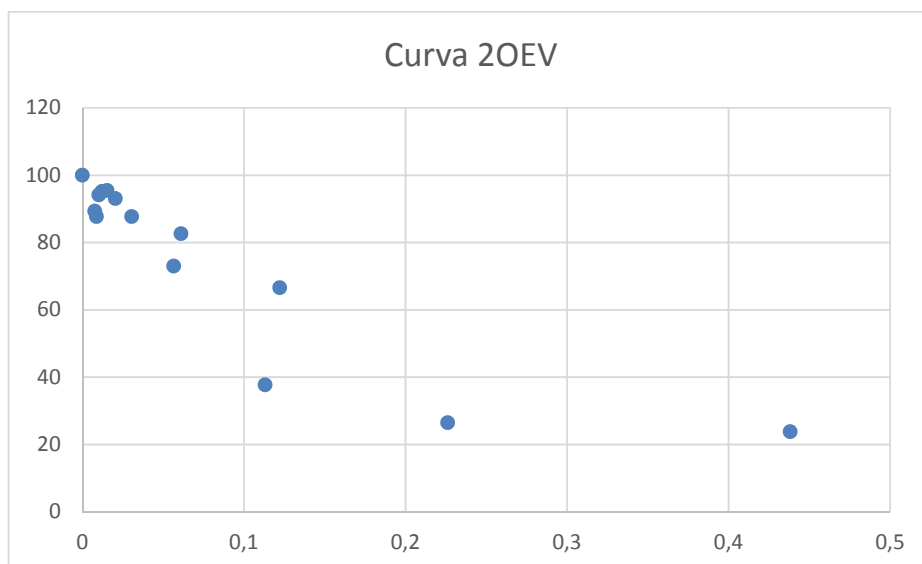


Tabla # 20: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para relación polifenoles totales-EC50 de ALCOSA

| | PT | EC50 |
|-------------|-----------|-------------|
| PT | 1 | |
| EC50 | -0.51782 | 1 |

Tabla # 21: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para relación polifenoles-totales-EC50 de Chimaltenango

| | PT | EC50 |
|-------------|-----------|-------------|
| PT | 1 | |
| EC50 | -0.25765 | 1 |

Tabla # 22: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para polifenoles totales

| | ALCOSA | Chimaltenango |
|----------------------|---------------|----------------------|
| ALCOSA | 1 | |
| Chimaltenango | -0.69097 | 1 |

Tabla # 23: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para EC50

| | ALCOSA | Chimaltenango |
|----------------------|---------------|----------------------|
| ALCOSA | 1 | |
| Chimaltenango | 0.999254 | 1 |

Tabla # 24: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para proceso de escaldado

| | PT | EC50 |
|-------------|-----------|-------------|
| PT | 1 | |
| EC50 | 1 | 1 |

Tabla # 28: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para índices de absorción de Chimaltenango.

| | ONE | OEA | OEV | OEM | ONEM | OEVM | ONEL | OEVL |
|------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
| ONE | 1 | | | | | | | |
| OEA | 1 | 1 | | | | | | |
| OEV | 1 | 1 | 1 | | | | | |
| OEM | 1 | 1 | 1 | 1 | | | | |
| ONEM | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | | |
| OEVM | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| ONEL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| OEVL | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tabla # 29: Análisis de varianzas de análisis proximal realizado con la herramienta de Excel 2013

| Fuente de variación | SS | df | MS | F | Valor-P | F crítico |
|---------------------|----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos | 0.318801 | 6 | 0.053134 | 14.11984 | 0.005324 | 4.950288 |
| Dentro de grupos | 0.018815 | 5 | 0.003763 | | | |
| Total | 0.337617 | 11 | | | | |

Tabla # 30: Varianzas de análisis proximal calculadas por Excel 2013

| Grupos | Cuenta | Sum | Promedio | Varianza |
|------------------------|--------|----------|----------|----------|
| Humedad | 2 | 0.148678 | 0.074339 | 0.000126 |
| proteína | 2 | 0.362972 | 0.181486 | 0.000257 |
| grasa | 2 | 0.056222 | 0.028111 | 1.04E-05 |
| cenizas | 2 | 0.254946 | 0.127473 | 1.15E-06 |
| carbohidratos | 2 | 0.996931 | 0.498466 | 9.07E-05 |
| fibra dietética | 2 | 0.681471 | 0.340735 | 0.018331 |

Tabla # 31: Análisis de varianzas de índice de absorción de agua y aceite realizado con la herramienta de Excel 2013

| Fuente de variación | SS | df | MS | F | Valor-P | F crítico |
|---------------------|----------|----|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos | 290.2506 | 22 | 13.19321 | 1.439662 | 0.127769 | 1.698495 |
| Dentro de grupos | 632.323 | 69 | 9.164102 | | | |
| Total | 922.5737 | 91 | | | | |

Tabla # 32: Varianzas de índice de absorción de agua y aceite calculadas por Excel 2013

| Grupos | Cuenta | Sum | Promedio | Varianza |
|------------------------------|---------------|------------|-----------------|-----------------|
| ONE | 4 | 24.74567 | 6.186416 | 17.66303 |
| OEV | 4 | 19.58438 | 4.896094 | 11.25333 |
| OEA | 4 | 22.35991 | 5.589978 | 19.48374 |
| OEM | 4 | 20.86351 | 5.215877 | 12.46336 |
| NE | 4 | 20.17778 | 5.044446 | 14.43481 |
| EV | 4 | 17.00458 | 4.251146 | 6.91548 |
| EA | 4 | 15.77028 | 3.942571 | 4.182889 |
| EM | 4 | 22.52764 | 5.631911 | 17.69813 |
| ONEM | 4 | 11.1554 | 2.788851 | 2.079477 |
| OEVM | 4 | 12.41649 | 3.104122 | 1.663317 |
| NEM1200 | 4 | 16.84784 | 4.211959 | 6.788396 |
| NEM1100 | 4 | 14.4121 | 3.603025 | 4.422512 |
| EVM | 4 | 16.27599 | 4.068997 | 5.810269 |
| ONEL | 4 | 25.45674 | 6.364184 | 23.46324 |
| OEVL | 4 | 25.64058 | 6.410146 | 21.81296 |
| NEL | 4 | 25.06335 | 6.265837 | 18.34331 |
| EVL | 4 | 23.806 | 5.951499 | 21.05242 |
| harina trigo dura | 4 | 5.035682 | 1.25892 | 0.436899 |
| harina de trigo suave | 4 | 5.909427 | 1.477357 | 0.408656 |
| harina trigo todo uso | 4 | 6.77573 | 1.693932 | 0.033385 |
| harina maíz | 4 | 8.925492 | 2.231373 | 0.079673 |
| harina yuca | 4 | 4.460011 | 1.115003 | 0.119674 |
| harina arroz | 4 | 6.429339 | 1.607335 | 0.165389 |

Tabla # 33: Análisis de varianzas de índices de absorción de harinas comerciales contra tronco de brócoli por EXCEL 2013

| Fuente de variación | SS | df | MS | F | Valor-P | F crítico |
|----------------------------|--------------|-----------|--------------|--------------|----------------|------------------|
| Entre grupos | 1.51937 4 | 1 | 1.51937 4 | 1.05180 8 | 0.56811 8 | 4.96460 3 |
| Dentro de grupos | 17.3344 2 | 12 | 1.44453 5 | | | |
| Total | 18.8537 9 | 13 | | | | |

Tabla # 34: Varianzas calculadas por Excel 2013 para índices de absorción de harinas comerciales y tronco de brócoli

| grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
|--------|--------|-------------|----------|----------|
| agua | 7 | 15.63252823 | 2.233218 | 2.599854 |
| aceite | 7 | 11.02045358 | 1.574351 | 0.289215 |

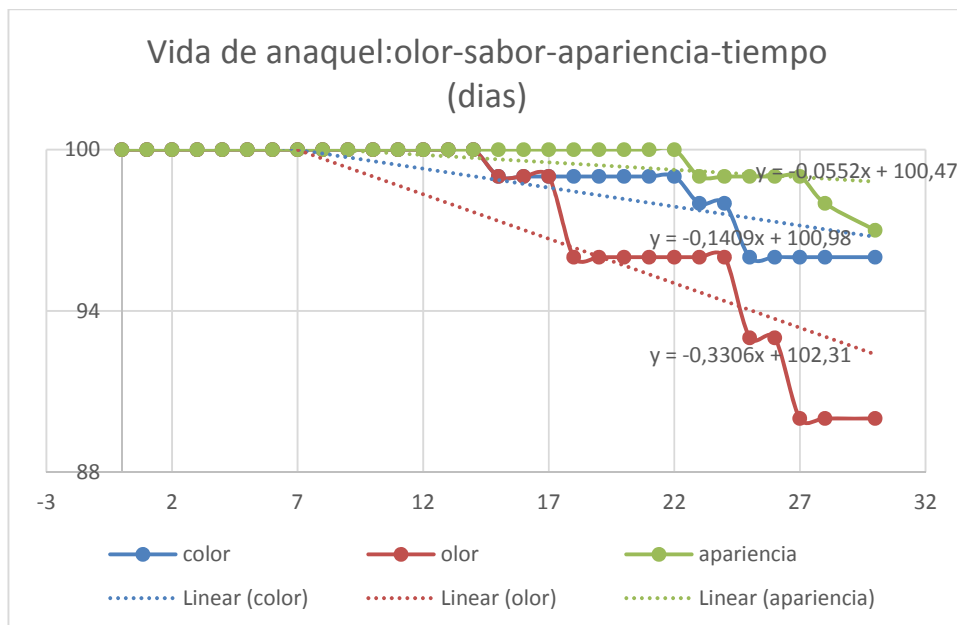
Tabla # 35: Distribución de partícula de harinas de tronco de brócoli

| # tamiz | ALCOSA fracción %(g/g) | Chimaltenango fracción %(g/g) |
|---------|------------------------------|-------------------------------------|
| 20 | 0.3% | 0.3% |
| 30 | 5.9% | 0.2% |
| 45 | 5.6% | 6.5% |
| 60 | 12.6% | 12.8% |
| 80 | 16.4% | 15.7% |
| 100 | 9.7% | 8.9% |
| 105 | 49.5% | 55.6% |

Tabla # 36: Análisis de correlación realizado con Excel 2013 para distribución de partícula de harinas de tronco de brócoli

| | ALCOSA fracción %(g/g) | Chimaltenango fracción %(g/g) |
|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| ALCOSA fracción %(g/g) | 1 | |
| Chimaltenango fracción %(g/g) | 0.9929226 | 1 |

Gráfica # 28: Curva de tendencia de vida de anaquel según parámetros



Gráfica # 29: Curva de tendencia de vida de anaquel según actividad de agua

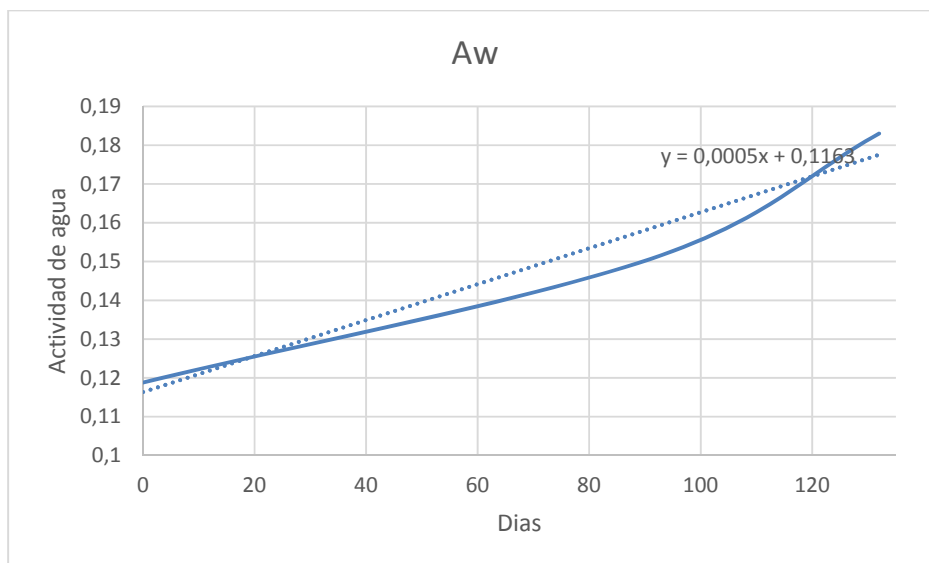


Tabla # 37: Prueba de preferencia por ordenamiento al 5% de significancia (en verde valores significantes)

| muestra | F1 | F2 | F3 | F4 | F6 | mínimo/máximo de significancia al 5% |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|--------------------------------------|
| código | 715 | 845 | 796 | 689 | 665 | |
| sabor | 38 | 45 | 57 | 54 | 32 | |
| olor | 36 | 51 | 52 | 47 | 39 | |
| textura | 37 | 53 | 45 | 54 | 37 | 36-54 |

Gráfica # 30: Distribución de comentarios realizados por prueba de ordenamiento

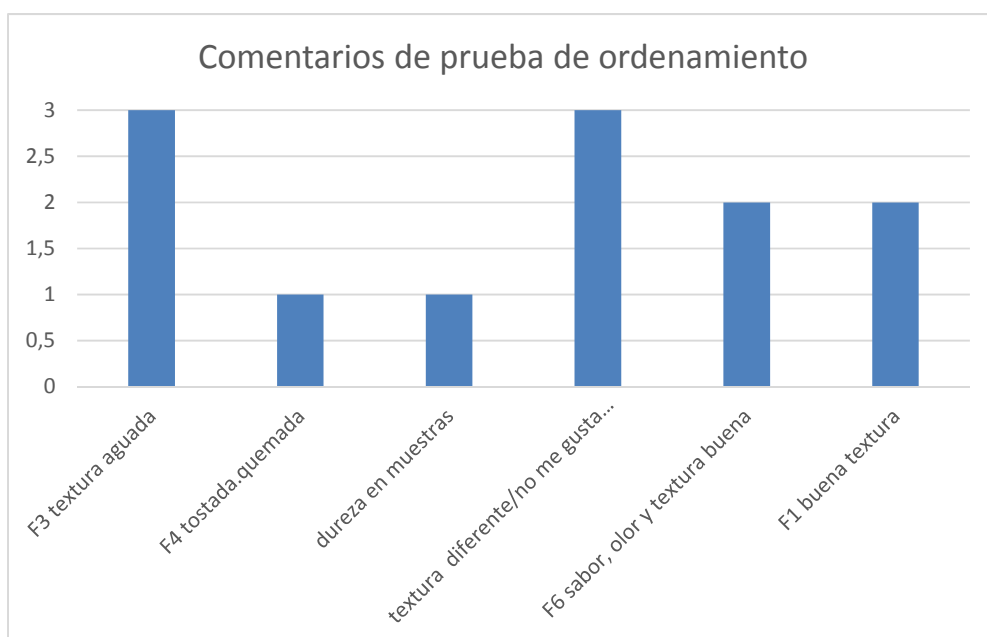


Tabla # 38: Varianzas calculadas por Excel 2013 para prueba de preferencia

| Grupos | Cuenta | Sum | Promedio | Varianza |
|--------|--------|-----|----------|----------|
| 1 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 2 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 3 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 4 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 5 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 6 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 7 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 8 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 9 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 10 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 11 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 12 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 13 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 14 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |
| 15 | 2 | 1 | 0.5 | 0.5 |

Tabla # 39: Análisis de varianza realizada para la prueba de preferencia

| Fuente de variación | SS | df | MS | F | Valor-P | F crítico |
|---------------------|-----|----|-----|---|---------|-----------|
| Entre grupos | 0 | 14 | 0 | 0 | 1 | 2.424364 |
| Dentro de grupos | 7.5 | 15 | 0.5 | | | |
| | | | | | | |
| Total | 7.5 | 29 | | | | |

Tabla # 40: Varianzas calculadas por Excel 2013 para análisis de grosor

| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
|-----------|--------|------|----------|----------|
| Columna 1 | 6 | 2.9 | 0.483333 | 0.005667 |
| Columna 2 | 6 | 3.3 | 0.55 | 0.003 |

Tabla # 41: Análisis de varianzas calculado con Excel 2013 para grosor

| Fuente de variación | SS | df | MS | F | Valor-P | F crítico |
|---------------------|-----------------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| Entre grupos | 0.013333 | 1 | 0.013333 | 3.076923 | 0.109946 | 4.964603 |
| Dentro de grupos | 0.043333 | 10 | 0.004333 | | | |
| Total | 0.056667 | 11 | | | | |

Tabla # 42: Varianzas calculadas por Excel 2013 para análisis de dureza

| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
|-----------|--------|------|----------|----------|
| Columna 1 | 6 | 13 | 2.16667 | 2.566667 |
| Columna 2 | 6 | 13 | 2.16667 | 2.5667 |

Tabla # 43: Análisis de varianzas calculado con Excel 2013 para dureza

| Fuente de variación | SS | df | MS | F | Valor-P | F crítico |
|---------------------|-----------------|-----------|----------|---|---------|-----------|
| Entre grupos | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4.964603 |
| Dentro de grupos | 23.66667 | 10 | 2.366667 | | | |
| Total | 23.66667 | 11 | | | | |

Tabla # 44: Varianzas calculadas por Excel 2013 para diámetros

| Grupos | Cuenta | Suma | Promedio | Varianza |
|-----------|--------|------|----------|----------|
| Columna 1 | 6 | 24.4 | 4.066667 | 0.002667 |
| Columna 2 | 6 | 24.2 | 4.033333 | 0.002667 |

Tabla # 45: Análisis de varianzas calculado con Excel 2013 para diámetros

| Fuente de variación | SS | df | MS | F | Valor-P | F crítico |
|---------------------|-------------|-----------|----------|------|----------|-----------|
| Entre grupos | 0.003333 | 1 | 0.003333 | 1.25 | 0.289692 | 4.964603 |
| Dentro de grupos | 0.026667 | 10 | 0.002667 | | | |
| Total | 0.03 | 11 | | | | |

Gráfica # 31: Distribución de razones y comentarios para prueba de preferencia

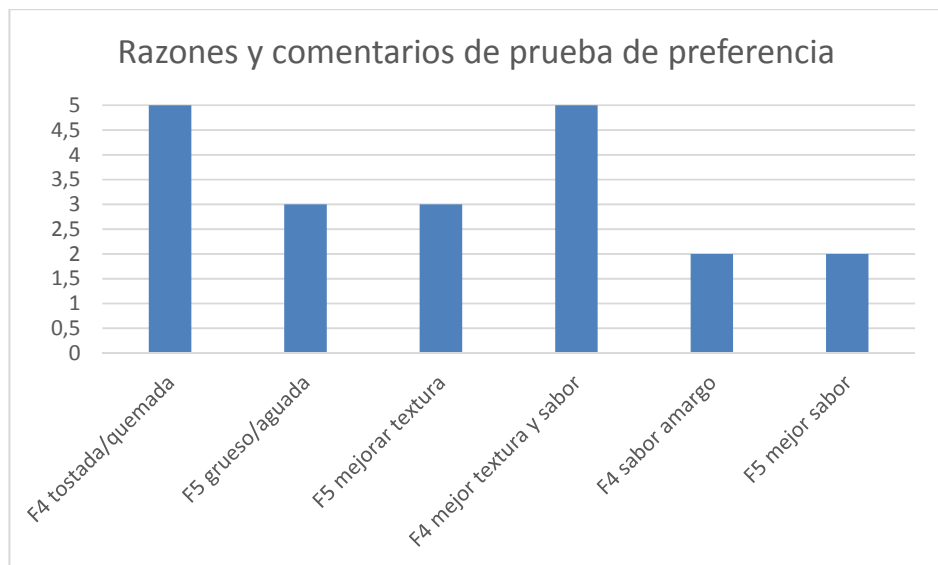




Imagen # 4:
Liofilización



Imagen # 5:
Tronco
deshidratado



Imagen # 6: Ciclón
para molienda



Imagen # 7:
Desperdicio donde se
obtiene el tronco



Imagen # 8:
Deficiencia de boro



Imagen # 9:
Troncos



Imagen # 10: Animal
presente en troncos



Imagen # 11:
Desinfección de
troncos



Imagen # 12: Tronco
triturado en bandejas



Imagen # 13:
Deshidratado por
convección



Imagen # 14: Molida



Imagen # 15: Tronco
luego de separación de
tallos



Imagen # 16: Tronco
ALCOSA como
viene en desperdicio

Imagen # 17: Tronco
de Chimaltenango
como viene en
desperdicio

Imagen # 18: Viales de
HPLC para vitamina C

Imagen # 19: Extractos
de vitamina C de las
harinas



Imagen # 20: Códigos para prueba
sensorial

Boleta para prueba sensorial

Nombre: _____

#Boleta _____

Fecha: _____

Nombre del producto: Nachos

Frente a usted hay 5 muestras de nachos que usted debe ordenar de acuerdo a su preferencia en cuanto a la característica de sabor/olor/textura.

Cada muestra debe llevar un orden diferente, dos muestras no deben tener el mismo orden.

| | Sabor | Olor | Textura |
|---|-------|------|---------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

Comentarios

Frente a usted hay 2 muestras de nachos pruébelas por separado y seleccione la muestra que usted prefiera

| | |
|-------------------------|----|
| A. | B. |
| Prefiero muestra: _____ | |

Explique la razón de porque la eligió:

Comentarios

Metodología de determinación de vitamina C por Cromatografía Líquida de Alta Resolución

Extracción:

- ✓ Se agrega 1 gramo de harina de tronco de brócoli a 10ml de 1% (peso/volumen) de ácido oxálico/agua y se homogeniza con vortex por 1 minuto.
- ✓ Se centrifuga por 15-20 minutos.
- ✓ se filtra con papel filtro Whatman 1, con ayuda de una bomba al vacío. El líquido filtrado es la vitamina C extraída. Este procedimiento se hace por duplicado.

Análisis:

- ✓ Se filtra 1 ml del extracto por medio un filtro de 0.45 μ m antes de la inyección. (Para la inyección es necesario mínimo 0.5ml de muestra.) Las muestras son analizadas por un cromatografo HPLC, con columna Eclipse Plus C18, detector UV, y auto-sampler. El flujo de 1.5ml/min con un volumen de inyección de 5 μ l, en fase móvil de 0.05M KH_2PO_4 a 25°C, la detección se realiza a 234nm. Las inyecciones se hacen por duplicado.
- ✓ El estándar es ácido L-ascórbico, para hacer la curva de calibración se realizan 0.5, 1.5, 2.5 y 3.5 mg/ml en ácido oxálico 1% (p/v).
- ✓ Los resultados se reportan como mg de ácido L-ascórbico por g de muestra.