

Universidad Miguel Hernández
Escuela Politécnica Superior de Orihuela
GRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LOS ALIMENTOS



**“ESTUDIO DE LA INCORPORACIÓN DE CO-
PRODUCTO DE CHUFA A MAGDALENAS SIN
GLUTEN”**

TRABAJO FIN DE GRADO

Irene Abellán Mínguez

Septiembre - 2015

Tutores: Casilda Navarro Rodríguez de Vera

Marina Blanco Soriano

RESUMEN

En este trabajo de final de grado se pretende estudiar el efecto de la aplicación de diferentes concentraciones de coproducto de chufa, sobre distintos parámetros de calidad en magdalenas sin gluten, así como su evolución tras el almacenamiento.

El estudio se realizará durante 5 días, siendo el día 0 el mismo día de elaboración y realizándose determinaciones durante los días 0, 1, 2 y 4, para poder realizar un seguimiento de sus posibles cambios durante el almacenamiento. Se llevarán a cabo determinaciones, físicas, físico-químicas, químicas y sensoriales

PALABRAS CLAVE

- ❖ Magdalena
- ❖ Gluten
- ❖ Celiacos
- ❖ Enfermedad celiaca o celiacía
- ❖ Coproducto
- ❖ Chufa

ABSTRACT

The aim of this final degree work is to study the effect of applying different concentrations of tigernut co-product, on various quality parameters in gluten-free muffins and its evolution during storage.

The study was conducted for 5 days, with day 0, the day of preparation, and performing measurements on days 0, 1, 2 and 4, in order to consider possible changes during storage. Physical, physico-chemical, chemical and sensory analysis will be carry out.

PALABRAS CLAVE

- ❖ Muffin
- ❖ Gluten
- ❖ Celiac
- ❖ Celiac disease
- ❖ Coproduct
- ❖ Tigernut

AGRADECIMIENTOS

Los agradecimientos, ese “punto” que se deja para el final y que se supone que es lo más fácil de escribir.

Hay tanta gente a la que agradecer en estos cuatro años que no resulta tan fácil redactarlos a todos en un simple “punto”.

En primer lugar a Casilda, por la paciencia que ha tenido durante todo el trabajo y la confianza que me ha transmitido, haciendo que este TFG se hiciera más ameno con sus “tranquila, da tiempo” y sus “venga, ánimo”. Da gusto tener profesores con los que no solo se tiene una relación en clase, si no que sabes que puedes contar con ellos para lo que necesites.

Al grupo de investigación IPOA, por su ayuda prestada tanto en las catas como en los momentos en los que hacía falta echarme una mano en los laboratorios.

A Marina, por haber sabido controlar a la perfección el caos del primer día.

A Jorge, por esos días de laboratorio donde arrasábamos con los “premios” de las catas (ahora que Casilda no nos oye).

A mis “tecnólogos”, de quien me llevo miles de historias y buenos momentos. Tras estos cuatro años no me llevo compañeros, me llevo AMIGOS.

A mis padres, porque aunque todavía no sepan decir a la primera el nombre completo de la Titulación, me han apoyado en todo momento.

A mi hermana, por alegrarme la vida con sus tonterías y estar siempre cuando la necesito. Al fin tu pequeño “Einstein” ha terminado de redactar, ahora te toca a ti leer.

A mi abuela Quiteria, por ponerme una vela en cada examen que he tenido que superar para “darme suerte”. Esta será la última vela que tengas que poner para que sea graduada.

Y por último, (pero no menos importante), a ti, por aguantar mis quejas a todas horas durante el último mes. Mis “no me da tiempo”, “no llevo”, se han convertido en un “¡POR FIN!”, que los dos celebraremos. Gracias Dativo.

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUCCIÓN | 11 |
| 1.1 PRODUCTOS DE PASTELERÍA Y REPOSTERÍA | 11 |
| 1.2 MARCO ECONÓMICO DEL SECTOR DE LA ALIMENTACIÓN EN ESPAÑA | 13 |
| 1.2.1 Consumo de productos de pastelería y repostería | 14 |
| 1.2.1.1 Producción en España de productos de pastelería – repostería, bollería y confitería en los últimos años | 14 |
| 1.2.1.2 Gasto económico en España de productos de pastelería, repostería y bollería en los últimos años | 15 |
| 1.2.1.3 Consumo de magdalenas en España | 15 |
| 1.2.1.4 Reglamentos que regulan los productos de pastelería-repostería, bollería y confitería | 16 |
| 1.3. INTOLERANCIA AL GLUTEN O CELIAQUÍA | 16 |
| 1.3.1. El gluten | 17 |
| 1.3.2. La enfermedad celiaca | 17 |
| 1.3.3. Celiaquía en España | 18 |
| 1.3.4. Importancia tecnológica del gluten | 19 |
| 1.3.5. Límites y etiquetado de productos sin gluten. | 19 |
| 1.3.6. Reglamentación que regula el gluten en los alimentos | 21 |
| 1.4. IMPORTANCIA DE LA FIBRA EN LA DIETA | 22 |
| 1.4.1. La fibra alimentaria | 22 |
| 1.4.2. Importancia de la fibra en la dieta y beneficios | 23 |
| 1.4.3. Introducción de fibra a productos sin gluten | 23 |
| 1.5. INCORPORACIÓN DE COPRODUCTO DE CHUFA A PRODUCTOS | 24 |
| 2. OBJETIVOS | 26 |
| 2.1 OBJETIVOS GENERALES | 26 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS | 26 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODOS | 28 |
| 3.1 MATERIAS PRIMAS Y FORMULACIÓN | 28 |
| 3.1.1 Proceso de obtención del coproducto de chufa | 28 |
| 3.1.2. Proceso de elaboración de las magdalenas | 31 |
| 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL | 36 |
| 3.3 METODOLOGÍA ANALÍTICA | 37 |
| 3.3.1 DETERMINACIONES REALIZADAS A LA MASA | 37 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.3.1.1 | DETERMINACIONES FÍSICAS | 37 |
| 3.3.2 | DETERMINACIONES REALIZADAS A LAS MAGDALENAS | 38 |
| 3.3.2.1 | DETERMINACIONES FÍSICAS | 38 |
| 3.3.2.2 | ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE LAS MAGDALENAS | 41 |
| 3.3.2.3 | ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS MAGDALENAS | 42 |
| 3.3.2.4 | ANÁLISIS SENSORIAL | 43 |
| 3.3.4 | METODOLOGÍA ESTADÍSTICA | 45 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 47 |
| 4.1 | DETERMINACIONES REALIZADAS A LA MASA | 47 |
| 4.1.1 | DETERMINACIONES FÍSICAS | 47 |
| 4.1.1.1. | Color de la masa | 47 |
| 4.2. | DETERMINACIONES REALIZADAS A LAS MAGDALENAS | 52 |
| 4.2.1. | DETERMINACIONES FÍSICAS | 52 |
| 4.2.1.1. | Pérdida de peso producida tras el horneado..... | 52 |
| 4.2.1.2. | Altura de copete..... | 54 |
| 4.2.1.3. | Densidad de las magdalenas | 55 |
| 4.2.1.4. | Pérdida de peso en la evolución en el tiempo | 57 |
| 4.2.1.5. | Diámetro de las magdalenas | 58 |
| 4.2.1.6. | Color de las magdalenas | 60 |
| 4.2.1.7. | Determinación de la textura | 74 |
| 4.2.2. | DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS MAGDALENAS... | 77 |
| 4.2.2.1. | pH y Actividad de agua (a_w) | 77 |
| 4.2.3. | DETERMINACIONES QUÍMICAS DE LAS MAGDALENAS | 80 |
| 4.2.3.1. | Determinación de la humedad..... | 80 |
| 4.2.4. | ANÁLISIS SENSORIAL | 82 |
| 5. | CONCLUSIONES..... | 94 |
| 6. | BIBLIOGRAFÍA..... | 97 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1. Número de empresas de la industria alimentaria por subsectores | 13 |
| Tabla 2. Diferentes manifestaciones de la EC según el ciclo vital..... | 18 |
| Tabla 3. Fórmula patrón llevada a cabo para la elaboración de las magdalenas | 28 |
| Tabla 4. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el color de la masa de las magdalenas con coproducto de chufa | 47 |
| Tabla 5. Resultados del test de Tukey de las coordenadas de color CIELAB (L^* , a^* , b^*) y de las magnitudes psicofísicas (C^*_{ab} y h_{ab}) | 47 |
| Tabla 6. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso tras el horneado de magdalenas con coproducto de chufa | 52 |
| Tabla 7. Resultados del test de Tukey para la pérdida de peso tras el horneado de magdalenas con coproducto de chufa | 53 |
| Tabla 8. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la altura de copete de magdalenas con coproducto de chufa | 54 |
| Tabla 9. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la densidad de magdalenas con coproducto de chufa | 55 |
| Tabla 10. Resultados del test de Tukey para la densidad de magdalenas con coproducto de chufa..... | 56 |
| Tabla 11. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso de magdalenas con coproducto de chufa | 57 |
| Tabla 12. Resultados del test de Tukey para la pérdida de peso de magdalenas con coproducto de chufa..... | 57 |
| Tabla 13. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el diámetro de magdalenas con coproducto de chufa | 59 |
| Tabla 14. Resultados del test de Tukey para el diámetro de magdalenas con coproducto de chufa..... | 59 |
| Tabla 15. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el color externo de magdalenas con coproducto de chufa | 60 |
| Tabla 16. Resultados del test de Tukey para el color externo de magdalenas con coproducto de chufa..... | 61 |
| Tabla 17. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el color interno de magdalenas con coproducto de chufa | 67 |
| Tabla 18. Resultados del test de Tukey para el color interno de magdalenas con coproducto de chufa..... | 67 |
| Tabla 19. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros del análisis de textura de magdalenas con coproducto de chufa | 74 |
| Tabla 20. Resultados del test de Tukey para los parámetros del análisis de textura de magdalenas con coproducto de chufa..... | 74 |

| | |
|---|-----------|
| Tabla 21. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la actividad de agua y pH de magdalenas con coproducto de chufa | 78 |
| Tabla 22. Resultados del test de Tukey para la actividad de agua y pH de magdalenas con coproducto de chufa | 78 |
| Tabla 23. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) la humedad de magdalenas con coproducto de chufa | 80 |
| Tabla 24. Resultados del test de Tukey para la humedad de magdalenas con coproducto de chufa..... | 81 |
| Tabla 25. Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el análisis sensorial de magdalenas con coproducto de chufa | 83 |
| Tabla 26. Resultados del test de Tukey para el análisis sensorial de magdalenas con coproducto de chufa..... | 84 |



ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 1. Producción de pastelería – repostería, bollería y confitería en % y en miles de Kg ... | 14 |
| Figura 2. Gasto en España de pastelería-repostería, bollería y confitería en % y en miles de € | 15 |
| Figura 3. Consumo de pastelería – bollería en España | 15 |
| Figura 4. Simbología para la identificación comercial de productos libres de gluten | 20 |
| Figura 5. Logo Federación de Asociaciones de Celiacos de España (FACE) | 20 |
| Figura 6. Izq. Simbología propia de Mercadona para sus productos sin gluten. Drcha. Simbología propia de Eroski para sus productos libres de gluten | 21 |
| Figura 7. Diagrama de flujo de extracción de coproducto de chufa | 29 |
| Figura 8. Coproducto de chufa congelado | 29 |
| Figura 9. Coproducto de chufa en paño filtrante, listo para prensar | 30 |
| Figura 10. Coproducto de chufa tras el tratamiento térmico | 30 |
| Figura 11. Izq. envasadora a vacío EGARVAC. Drcha. Coproducto envasado al vacío | 31 |
| Figura 12. Proceso de elaboración de magdalenas con coproducto de chufa | 32 |
| Figura 13. Ingredientes seleccionados | 33 |
| Figura 14. Batidora utilizada, Thermomix Vorwerk TM21 | 33 |
| Figura 15. Llenado de blondas y molde | 34 |
| Figura 16. Cocción de las muestras | 35 |
| Figura 17. Enfriamiento a temperatura ambiente | 35 |
| Figura 18. Izquierda, envasadora a vacío. Derecha, magdalenas envasadas por lotes y días | 36 |
| Figura 19. Colorímetro Minolta realizando determinaciones de la masa | 37 |
| Figura 20. Altura de copete | 38 |
| Figura 21. Determinación de la pérdida de peso | 39 |
| Figura 22. Mediciones de diámetro | 39 |
| Figura 23. Espectrofotómetro Minolta Camera CM 700 D | 40 |
| Figura 24. Texturómetro con sonda AACC 11mm realizando determinaciones | 41 |
| Figura 25. pHmetro Crison GLP 21 con electrodo de punción | 41 |
| Figura 26. Higrómetro Novasina para la determinación de Aw | 42 |
| Figura 27. Balanza de desecación Mettler Toledo utilizada | 42 |
| Figura 28. Muestras para análisis sensorial y sala de catas | 43 |
| Figura 29. Valores de la coordenada de color Luminosidad (L*) de la masa de magdalena con coproducto de chufa | 48 |
| Figura 30. Valores de la coordenada de color rojo –verde (a*) de la masa de magdalena con coproducto de chufa | 49 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 31. Valores de la coordenada de color amarillo – azul (b^*) de la masa de magdalena con coproducto de chufa | 50 |
| Figura 32. Valores de la magnitud psicofísica Cromo (C^*_{ab}) de la masa de magdalena con coproducto de chufa | 51 |
| Figura 33. Valores de la magnitud psicofísica Tono (h^*_{ab}) de la masa de magdalena con coproducto de chufa | 51 |
| Figura 34. Valores de la pérdida de peso producida tras la cocción de magdalenas con coproducto de chufa previa al horneado..... | 53 |
| Figura 35. Representación de las muestras de magdalenas con diferentes concentraciones de coproducto (amarilla: 0%; azul 5%; verde10%; roja 15%) | 55 |
| Figura 36. Valores de la densidad de las magdalenas con diferentes concentraciones de coproducto de chufa | 56 |
| Figura 37. Valores de la pérdida de peso tras el almacenamiento de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 58 |
| Figura 38. Valores del diámetro de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 59 |
| Figura 39. Valores de la coordenada de color Luminosidad (L^*) externa de las magdalenas con coproducto de chufa | 61 |
| Figura 40. Valores de la coordenada de color rojo –verde (a^*) externa de las magdalenas con coproducto de chufa | 63 |
| Figura 41. Valores de la coordenada de color amarillo – azul (b^*) externa de las magdalenas con coproducto de chufa | 64 |
| Figura 42. Valores de la magnitud psicofísica Cromo (C^*_{ab}) externo de las magdalenas con coproducto de chufa | 65 |
| Figura 43. Valores de la magnitud psicofísica Tono (h^*_{ab}) externo de las magdalenas con coproducto de chufa | 66 |
| Figura 44. Valores de la coordenada de color Luminosidad interna (L^*) de las magdalenas con coproducto de chufa | 68 |
| Figura 45. Valores de la coordenada de color rojo –verde interno (a^*) de las magdalenas con coproducto de chufa | 69 |
| Figura 46. Valores de la coordenada de color amarillo – azul interno (b^*) de las magdalenas con coproducto de chufa | 70 |
| Figura 47. Valores de la magnitud psicofísica Cromo interno (C^*_{ab}) de las magdalenas con coproducto de chufa | 72 |
| Figura 48. Valores de la magnitud psicofísica Tono interno (h^*_{ab}) de las magdalenas con coproducto de chufa | 73 |
| Figura 49. Firmeza de las magdalenas elaboradas con distintas concentraciones de coproducto de chufa | 75 |
| Figura 50. Valores de la esponjosidad de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 76 |

| | |
|---|-----------|
| Figura 51. Valores del parámetro físico –químico pH de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 78 |
| Figura 52. : Valores del parámetro físico –químico a_w de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 79 |
| Figura 53. Valores de la humedad de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa..... | 81 |
| Figura 54. Valores del análisis sensorial (factor color interno) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 85 |
| Figura 55. Valores del análisis sensorial (factor color externo) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 85 |
| Figura 56. Valores del análisis sensorial (factor porosidad) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 86 |
| Figura 57. Valores del análisis sensorial (factor esponjosidad) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 87 |
| Figura 58. Valores del análisis sensorial (factor sabor) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 88 |
| Figura 59. Valores del análisis sensorial (factor dulzor) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 89 |
| Figura 60. Valores del análisis sensorial (factor aroma) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 90 |
| Figura 61. Valores del análisis sensorial (factor forma) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 90 |
| Figura 62. Valores del análisis sensorial (factor partículas de fibra) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 91 |
| Figura 63. Valores del análisis sensorial (factor aceptación general) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa | 92 |

1. INTRODUCCIÓN

Cada año son más las empresas de alimentación que apuestan por la innovación de sus productos. Este campo de I + D en el sector de la alimentación es muy amplio, pudiendo encontrar varios grupos, desde desarrollo de alimentos más saludables a alimentos que se ajusten a los estilos de vida actuales, entre otros. Uno de los grupos más investigados y con más interés es el grupo de las alergias e intolerancias, predominando la intolerancia al gluten o celiacía.

Son miles las personas que padecen esta intolerancia, y es por ello por lo que las industrias explotan todo su potencial para poder satisfacer las necesidades de este grupo de población, desarrollando productos alimenticios que tengan unas características sensoriales aceptadas por los consumidores, además de un perfil nutricional que abastezca las necesidades de la población.

En los últimos años se ha producido un incremento de este tipo de productos debido a que ya no se produce un consumo de estos únicamente por personas con intolerancia, si no que cada vez hay un mayor número de consumidores que siguen dietas sin gluten, motivados por problemas de salud o simplemente por verlo como una dieta “saludable” (Matos *et al.*, 2013) (Nachay, 2010).

En el sector de la pastelería y repostería es muy importante la investigación por parte de las empresas alimentarias, ya que el ingrediente principal de estos productos es la harina de trigo, la cual contiene gluten, aportando este unas características difíciles de reproducir. Podemos encontrar productos de pastelería y bollería sin gluten que presenten poco volumen, textura arenosa, deficiencias nutricionales, poco color y corta vida útil (Gallagher *et al.*, 2004). Es por ello por lo que la industria alimentaria tiene aún mucho camino por investigar, hasta conseguir que este tipo de productos sean los más similares posibles sensorialmente a los productos elaborados con gluten, con un perfil nutricional sin carencias y, a poder ser, saludable.

1.1 PRODUCTOS DE PASTELERÍA Y REPOSTERÍA

Dentro de los determinados “productos horneados” podemos encontrar la pastelería, repostería, bollería y confitería. Un alto sector de la población no sabe diferenciar estos términos o los utiliza como sinónimos, pero lo cierto es que tienen significados muy diferentes, determinados por el **Real Decreto 496/2010**, de 30 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para los productos de confitería, pastelería, bollería y repostería:

- a. **Productos de Confitería:** A efectos de esta norma se entiende por productos de confitería aquellos productos alimenticios cuyos ingredientes fundamentales son los azúcares, junto con otros ingredientes incluidos en los aditivos autorizados, y que en alguna fase de la elaboración se someten a un tratamiento térmico adecuado.

- b. Productos de bollería: Son los productos alimenticios elaborados básicamente con masa de harinas fermentadas y que han sido sometidos a un tratamiento térmico adecuado. Pueden contener otros alimentos, complementos panarios y aditivos autorizados. Podemos encontrar bollería ordinaria (sin relleno ni guarnición) y bollería rellena o enguarnecida (rellenada o enguarnecida tras el tratamiento térmico).
- c. Productos de pastelería y repostería: Son los productos alimenticios elaborados básicamente con masa de harina, fermentada o no, rellena o no, cuyos ingredientes principales son harinas, aceites o grasas, agua, con o sin levadura, a la que se pueden añadir otros alimentos, complementos panarios o aditivos autorizados y que han sido sometidos a un tratamiento térmico adecuado. Existen dos variantes: pastelería y repostería dulce, y pastelería y repostería salada. En ambas se distinguen, al menos, cinco masas básicas:
- ✓ Masas de hojaldre: masas trabajadas con aceites o grasas, con las que se producen hojas delgadas superpuestas. Elaboradas básicamente con harina y con ingredientes como aceites o grasas y agua, con sal o no. (Ejemplo: Pastel de manzana)
 - ✓ Masas azucaradas: masas elaboradas fundamentalmente con harina, aceite o grasa y azúcares. (Ejemplo: pastas de té)
 - ✓ Masas escaldadas: masas cocidas antes de someterlas a un tratamiento térmico. Elaboradas fundamentalmente con harina, sal, agua, leche, aceites o grasas, y en su caso, bebidas alcohólicas. (Ejemplo: Rosquillas)
 - ✓ Masas batidas: masas sometidas a un batido, resultando masas de gran volumen, tiernas y suaves. Elaboradas fundamentalmente con huevos, azúcares y harinas. (Ejemplo: Magdalenas y bizcochos)
 - ✓ Masas de repostería: masas elaboradas a partir de las anteriores, preparadas con relleno o guarnición de otros productos. (Ejemplo: mazapán)

1.2 MARCO ECONÓMICO DEL SECTOR DE LA ALIMENTACIÓN EN ESPAÑA

La industria agroalimentaria es la principal actividad de la industria manufacturera europea, representando un 15,5% de su facturación total (*Food Drink Europe, 2014*).

En cuanto a España, la industria alimentaria ocupa el quinto puesto en valor de ventas tras Alemania, Francia, Italia y Reino Unido.

En España, la industria de la alimentación y bebidas ocupa la primera rama industrial con un 20,6%, seguido de vehículos a motor y energía y agua (12,5% cada uno) y Metalurgia y fabricación de productos metálicos (11,4%). Además, el sector de la alimentación es el sector en España que más puestos de trabajo ocupa, siendo un 18,2% del total (*INE, 2014*).

TABLA 1: Número de empresas de la industria alimentaria por subsectores (Magrama, 2014)

| NÚMERO DE EMPRESAS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA POR SUBSECTORES (2013-2014) | | | | | | |
|--|---------------|------------|---------------|------------|---------------------|-------------|
| SUBSECTORES | Años | | | | Variaciones (14/13) | |
| | 2013 | % s/ IA | 2014 | % s/ IA | Absolutos | % |
| Industrias Cármicas | 4.036 | 14,0 | 3.926 | 13,8 | -110 | -2,7 |
| Transformación de Pescado | 655 | 2,3 | 656 | 2,3 | 1 | 0,2 |
| Conservas de Frutas y Hortalizas | 1.358 | 4,7 | 1.353 | 4,8 | -5 | -0,4 |
| Grasas y Aceites | 1.610 | 5,6 | 1.605 | 5,6 | -5 | -0,3 |
| Industrias Lácteas | 1.550 | 5,4 | 1.536 | 5,4 | -14 | -0,9 |
| Productos Molinería | 517 | 1,8 | 492 | 1,7 | -25 | -4,8 |
| Pan, Pastelería, Pastas alimenticias | 10.558 | 36,7 | 10.314 | 36,3 | -244 | -2,3 |
| Azúcar, Chocolate y Confitería | 726 | 2,5 | 714 | 2,5 | -12 | -1,7 |
| Otros Productos Diversos | 1.911 | 6,7 | 1.897 | 6,7 | -14 | -0,7 |
| Productos Alimentación Animal | 833 | 2,9 | 812 | 2,9 | -21 | -2,5 |
| Vinos | 4.036 | 14,0 | 4.047 | 14,3 | 11 | 0,3 |
| Otras Bebidas Alcohólicas | 612 | 2,1 | 701 | 2,5 | 89 | 14,5 |
| Aguas y Bebidas Analcohólicas | 329 | 1,1 | 319 | 1,15 | -10 | -3,0 |
| Total Industria Alimentaria | 28.731 | 100 | 28.372 | 100 | -359 | -1,2 |

Como se puede observar en la Tabla 1, en 2013 y 2014 predomina el número de empresas destinada a la producción de pan, pastelería, pastas alimenticias, suponiendo 36,7% en 2013 y un 36,3% en 2014. Seguidamente se encuentra la industria cármica con aproximadamente 4000 empresas, lo que supone un 14% del total.

1.2.1 Consumo de productos de pastelería y repostería

Dentro del sector de la alimentación y bebidas encontramos el subsector de la pastelería - repostería, bollería y confitería, el cual ocupa un lugar importante en la alimentación española. Es un subsector en auge, con cifras de producción y ventas cada vez más elevadas.

1.2.1.1 Producción en España de productos de pastelería – repostería, bollería y confitería en los últimos años

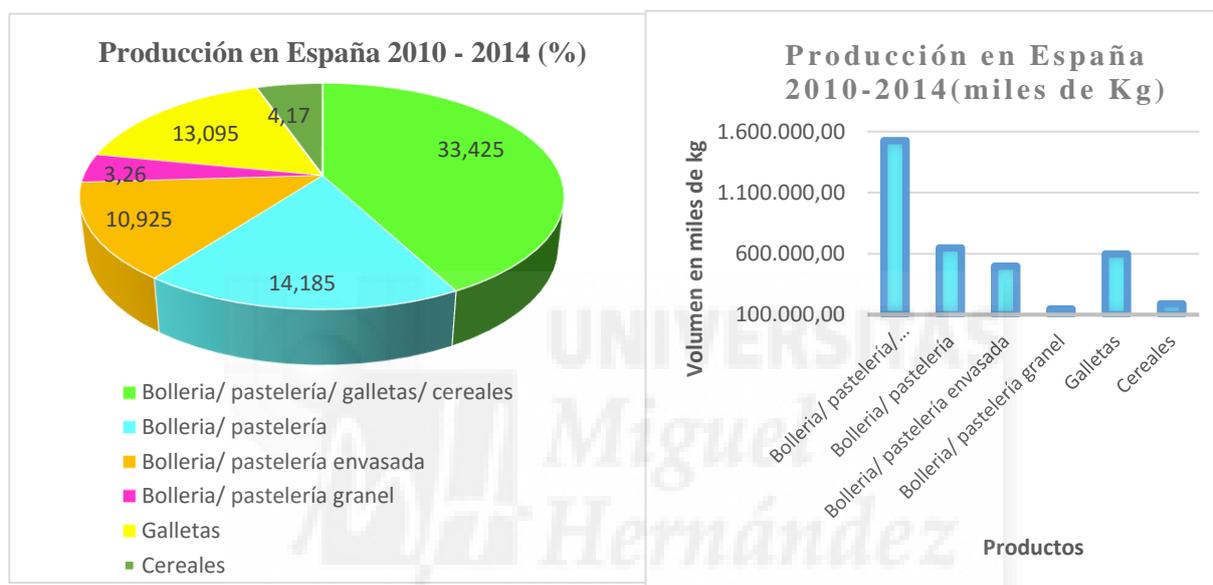


Figura 1: Producción de pastelería – repostería, bollería y confitería en % y en miles de Kg.
 Elaboración propia a partir de datos de Magrama, 2010-2014.

Como se puede observar en la Figura 1, en España se realiza una producción de casi 1.600.000 de kg de productos de pastelería, bollería galletas y cereales, lo que supone un 33,4% de la producción total de este tipo de productos. Seguidamente se encuentran los productos de bollería y pastelería envasados, con un 10,9%, seguido de la producción de galletas con un 13 %, lo que supone una producción de 600.000 kg. El resto de productos de este sector tienen una producción similar, siendo esta de un 4 – 1%, entre los que destacan la bollería y pastelería a granel, cereales o productos navideños, entre otros (Magrama, 2014).

1.2.1.2 Gasto económico en España de productos de pastelería, repostería y bollería en los últimos años.

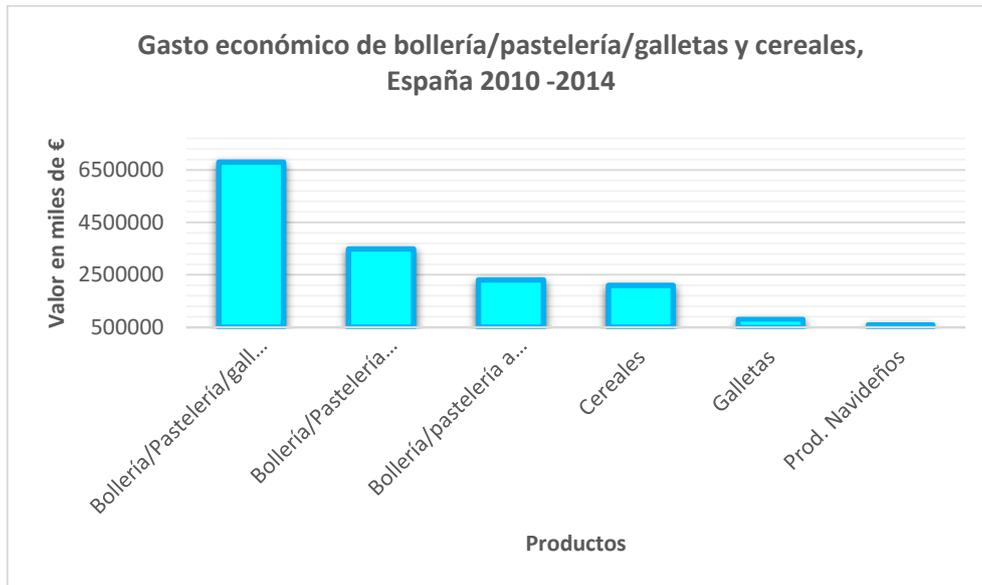


Figura 2: Gasto en España de pastelería – repostería, bollería y confitería en % y en miles de €
 Elaboración propia a partir de datos de Magrama, 2010-2014.

Lo descrito anteriormente queda representado económicamente en la Figura 2, donde se puede observar que el sector de la bollería/pastelería/galletas/cereales presenta una actividad de más de 6,5 millones de euros, seguido de bollería/pastelería envasada, con unas cifras de casi 3,5 millones de euros (Magrama, 2014).

1.2.1.3 Consumo de magdalenas en España

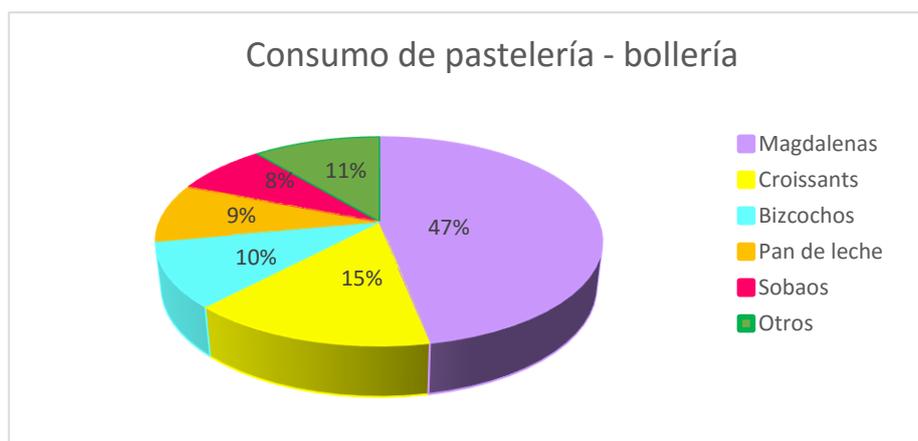


Figura 3: Consumo de pastelería –bollería en España. (Financial food, 2014)
 Elaboración propia a partir de datos de Financial food, 2014.

Dentro del consumo de pastelería- repostería y bollería hay un producto muy destacable con respecto al resto de su categoría. Este producto es la magdalena, con un consumo de un 47% con respecto al resto de productos de pastelería-bollería, como podemos ver en la Figura 3. Seguidamente encontramos como producto más consumidos los croissants, con un 15% y los bizcochos, con un 10%.

Según la RAE, se define magdalena como un bollo pequeño, hecho y presentado en molde de papel rizado, con los mismos ingredientes que el bizcocho en distintas proporciones. Debe su nombre, quizá, por alusión a Madeleine Paumier, cocinera francesa a la que se le atribuye la invención (RAE, 2015).

Este “pequeño bollo” tiene sus inicios en la región de Lorena (Francia), extendiéndose posteriormente por toda España e Iberoamérica (Ródenas, 2014).

Inicialmente se componía por huevos, azúcar, mantequilla, harina de trigo, levadura y aroma de limón, batiéndose las claras de huevo a punto de nieve para dar ligereza a la masa. Actualmente podemos destacar en la receta tradicional española como ingredientes la harina de trigo, azúcar, aceite vegetal, huevo y leche (Sanz et al., 2009).

1.2.1.4 Reglamentos que regulan los productos de pastelería-repostería, bollería y confitería

- Real Decreto 496/2010, de 30 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para los productos de confitería, pastelería, bollería y repostería.
- Reglamento (CE) 852/2004, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 29 de abril de 2004, relativos a la higiene de los productos alimenticios.
- Reglamento (CE) 2073/2005 de la Comisión, de 15 de noviembre, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios.

1.3. INTOLERANCIA AL GLUTEN O CELIAQUÍA

Los cereales constituyen la base de la alimentación para una gran parte de la población mundial, ocupando un lugar indiscutible en la base de la pirámide nutricional recomendada por las distintas guías nutricionales. Sin embargo, pese a los beneficios del consumo de cereales, estos pueden causar alergias e intolerancias alimenticias, siendo de especial interés la intolerancia al gluten o celiacía.

En las últimas décadas se ha incrementado la demanda de los productos libres de gluten o sin gluten como consecuencia del aumento del número de enfermos celíacos diagnosticados. Los celíacos buscan productos libres de gluten que posean la misma apariencia que los productos con gluten, sin olvidar los aspectos nutricionales de los mismos (Molina – Rosell, 2013).

1.3.1. El gluten

Existen numerosas definiciones de gluten:

- ✓ Según el Reglamento 41/2009, de la Comisión <<sobre la composición y etiquetado de productos alimenticios apropiados para personas con intolerancia al gluten >>, se entiende por gluten a la fracción proteica del trigo, centeno, cebada, la avena y sus variedades híbridas que algunas personas no toleran y que es insoluble en agua y en solución de cloruro sódico de 0,5M.
- ✓ Se define gluten como una proteína que se encuentra en la semilla de muchos cereales (trigo, cebada, centeno, y posiblemente avena), la cual está formada por la gliadina, causante de las propiedades viscosas y la extensibilidad de la masa, y la glutenina, causantes de la elasticidad y fuerza de la masa (FACE, 2015) (Molina –Rosell, 2013).
- ✓ El gluten es un conjunto de proteínas contenidas exclusivamente en la harina de los cereales de secano, fundamentalmente el trigo, pero también la cebada, el centeno y la avena, o cualquiera de sus variedades e híbridos (Kupper, 2005).

En definitiva, el gluten es una proteína vegetal encontrada en el trigo, centeno, cebada y posiblemente en avena e híbridos, que aporta unas características deseables a las masas y productos alimenticios, siendo estas características difícilmente de reproducir. Está formado por unas proteínas llamadas gluteninas y gliadinas. Las gliadinas presentan una parte que el organismo no digiere pero que las personas celiacas, cuya permeabilidad del intestino delgado es mayor, sí que digieren, atravesando de esta manera los péptidos la barrera epitelial del intestino delgado y reaccionando con las células de la mucosa, desencadenando una respuesta inflamatoria en el intestino delgado.

1.3.2. La enfermedad celiaca

La enfermedad celiaca (EC) es una intolerancia permanente al gluten del trigo, cebada, centeno y probablemente avena, que se manifiesta por una reacción inflamatoria en la mucosa del intestino delgado que dificulta la absorción de macro y micronutrientes. (FACE, 2015). Los síntomas varían según la edad, así como según el grado de intolerancia (leve –severa). En la Tabla 2 podemos observar las diferentes manifestaciones hacia una persona celiaca según las etapas de la vida:

Tabla 2: Diferentes manifestaciones de la EC según el ciclo vital. (FACE, 2015)

| INFANCIA | ADOLESCENCIA | ADULTO |
|-------------------------------|--------------------|-----------------------|
| Vómitos | Anemia ferropénica | Diarrea malabsortiva |
| Diarreas fétidas y abundantes | Dolor abdominal | Apatía, irritabilidad |
| Náuseas | Estreñimiento | Depresión |
| Anorexia | Dermatitis atópica | Pérdida de peso |
| Pelo frágil | Estatura corta | Osteoporosis |
| Fallo de crecimiento | Retraso puberal | Colon irritable |
| Defectos del esmalte dental | Artritis juvenil | Cáncer digestivo |

Para el diagnóstico de la enfermedad celiaca se realiza un examen clínico cuidadoso y una analítica de sangre donde se examinan los anticuerpos antigliadina y antiglutaminasa. Pero de esta manera no siempre se detecta esta enfermedad. Por ello, para obtener un diagnóstico certero, en ocasiones, es necesario someter al paciente a una biopsia intestinal, donde se realiza una pequeña extracción del tejido del intestino delgado, presentándose este dañado o no tras la ingesta de una dieta con gluten (FACEJOVEN, 2015).

Tras el diagnóstico, en el caso en el que se detecte una anomalía en el intestino delgado debida a esta intolerancia, se procede al tratamiento. Este consiste en el seguimiento de una dieta estricta sin gluten durante toda la vida, lo que lleva a una normalización clínica y reparación de las lesiones producidas en las vellosidades del intestino. El celiaco debe presentar en su dieta alimentos naturales y evitar, en la medida de lo posible, los alimentos elaborados o envasados, ya que en estos es más difícil garantizar la ausencia de gluten (FACE, 2015).

1.3.3. Celiaquía en España

Los análisis estadísticos realizados por el Instituto Nacional de Estadística, estiman que el número de celíacos en España puede estar en torno a 450.000. Sin embargo, sólo el 10 por ciento aproximadamente han sido diagnosticados (INE, 2013).

Según los datos recogidos en los últimos años, la probabilidad media de la población de desarrollar la enfermedad celiaca activa es de un 13%, mientras que aproximadamente el 50% de las personas pueden desarrollar el tipo latente, donde se encuentra las personas que en la infancia han sido diagnosticados de celiaquía, pero que se recuperaron con el inicio de la dieta sin gluten o las personas que inicialmente tienen la mucosa intestinal bien, pero que posteriormente desarrollan dicha enfermedad (FACE, 2015).

1.3.4. Importancia tecnológica del gluten

En general, los productos libres de gluten son de inferior calidad que sus correspondientes homólogos con gluten, debido a que su estructura se disgrega con facilidad y poseen textura muy seca (Molina – Rosell, 2013).

El gluten ofrece un sin número de propiedades funcionales para ser utilizado en sistemas alimenticios. Las propiedades funcionales del trigo son amplias, las más destacables son: la capacidad de desarrollar viscoelasticidad, la capacidad de formar masas y su capacidad de retención de agua (CRA) (IWGA, 2012).

La capacidad del gluten para formar una masa viscoelástica cuando está totalmente hidratado lo distingue de las demás proteínas vegetales disponibles en el mercado. La propiedad formadora de película del gluten es una consecuencia de su viscoelasticidad.

Esta formación de la película es una de las propiedades que proporciona la capacidad para que la masa retenga partículas sólidas en suspensión. La formación de película también es importante para atrapar las burbujas formadas durante la cocción gracias a la fermentación llevada a cabo, produciendo una textura uniforme. Por último, la CRA del gluten también es clave en la obtención de la textura de la miga de productos horneados (Khan y Nygard, 2006).

En los productos de panadería, las propiedades del gluten anteriormente citadas son claves para la elaboración dichos productos, ya que confieren además de una elevada capacidad de absorción de agua, una resistencia al estiramiento de las masas y una tolerancia al mezclado de ingredientes que otras proteínas no son capaces de ofrecer.

1.3.5. Límites y etiquetado de productos sin gluten.

Los límites en la composición y el etiquetado de los alimentos libres de gluten están establecidos por el Reglamento CE nº 41/2009, donde encontramos como productos apropiados para personas al gluten:

- ✓ Los productos alimenticios para personas con intolerancia al gluten, constituidos por uno o más ingredientes procedentes del trigo, el centeno, la cebada, la avena o sus variedades híbridas, que hayan sido tratados de forma especial para eliminar el gluten, no superando unos niveles de gluten de 100mg/kg. El etiquetado, la publicidad y la presentación de los productos mencionados llevarán la mención “contenido muy reducido de gluten”. Pueden llevar el término “exento de gluten” si el contenido de gluten no sobrepasa los 20 mg/kg en total, medido en los alimentos tal como se venden al consumidor final.
- ✓ La avena contenida en alimentos para personas con intolerancia al gluten debe ser producida, preparada o tratada de forma especial para evitar la contaminación por el trigo, centeno cebada o sus variedades híbridas, no sobrepasando los 20mg/kg de gluten en el producto final.

En cuanto a la identificación comercial de los productos libres de gluten, podemos identificarlos de esta manera:

- Con el símbolo de la espiga barrada: Símbolo internacional sin gluten. Se encuentra regulado por la AOECS (Asociación de Celiacos Europeos). Para que este símbolo tenga validez debe ir acompañado por el número de registro cedido por la asociación, seguido de las expresiones “OATS” (contiene avena pura), “100” (contiene hasta 100mg/kg y no contiene avena) o “100/OATS”(contiene hasta 100 mg/kg de gluten y avena pura). En el caso de no ir acompañado de ninguna expresión quiere decir que el producto contiene menos de 20 mg/kg.

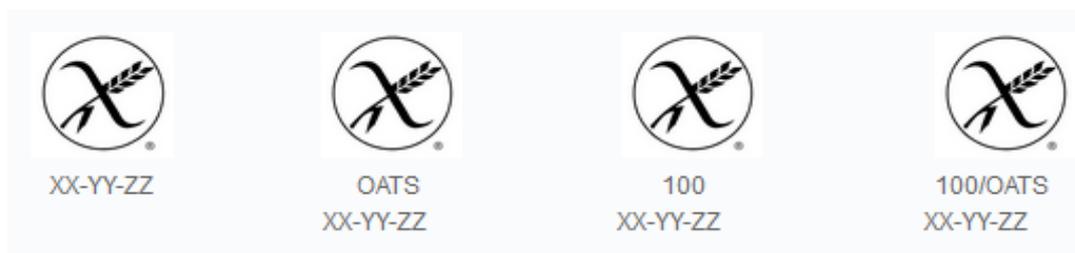


Figura 4: Simbología para la identificación comercial de productos libre de gluten. FACE, 2015

- Otra de las identificaciones es la controlada por FACE (Federación de Asociaciones de Celiacos de España): Creado para aquellas empresas que elaboran productos alimenticios aptos para celíacos y que quieren garantizar a los consumidores el cumplimiento de unas buenas prácticas de autocontrol y calidad libre de gluten dentro de sus empresas.



Figura 5: Logo Federación de Asociaciones de Celiacos de España. FACE, 2015

- Otras Identificaciones: existen fabricantes y cadenas de supermercados que por iniciativa propia indican en sus producto la leyenda “sin gluten”, como por ejemplo:



Figura 6: Izq. Simbología propia de Mercadona para sus productos sin gluten. Drcha. Simbología propia de Eroski para sus productos libres de gluten
Fuente; Mercadona.es / Eroski.es (2015)

1.3.6. Reglamentación que regula el gluten en los alimentos

- Reglamento en ejecución (UE) 828/2014 de la Comisión, de 30 de julio, relativo a los requisitos para la transmisión de la información a los consumidores sobre la ausencia o la presencia reducida de gluten en los alimentos.
- Reglamento (CE) 41/2009 de la Comisión, de 20 de enero, sobre la composición y etiquetado de los productos alimenticios apropiados para personas con intolerancia al gluten.
- Reglamento (UE) 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor.
- Reglamento Delegado (UE) 1155/2013 de la Comisión, de 21 de agosto, por el que se modifica el Reglamento (UE) 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor en lo referente a la información sobre la ausencia o la presencia reducida de gluten en los alimentos

1.4. IMPORTANCIA DE LA FIBRA EN LA DIETA

1.4.1. La fibra alimentaria

El concepto de fibra alimentaria ha cambiado considerablemente en pocos años. No existe una definición totalmente aceptada a nivel europeo, ni a nivel internacional (Mateos – Aparicio, 2008).

Se cree que Hipsley, en 1953, fue el primer investigador que aplicó el término fibra alimentaria para describir los constituyentes no digeribles que forman la pared celular vegetal (Mongeau *et al.*, 1999; Jones, 2000; AACC, 2001; Gray, 2006). Desde ese momento son diversas las definiciones que se han creado:

- ✓ American Association of Cereal Chemists (AACC) define la fibra como la parte o partes comestibles de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado y que fermentan completa o parcialmente en el intestino grueso. La fibra alimentaria incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas (Mateos – Aparicio, 2008).
- ✓ Según el CODEX Alimentarius y la Agencia Francesa de Seguridad Sanitaria de los Alimentos, la fibra consiste en:
 - Polímeros de carbohidratos de origen vegetal y lignina u otros componentes no carbohidratos, como polifenoles, ceras, saponinas, cutina, fitatos, fitoesteroles.
 - Polímeros de carbohidratos (grado de polimerización ≥ 3) que han sido procesados física, enzimática o químicamente, o que han sido sintetizados.

La fibra alimentaria, desde un punto de vista nutricional no es un ingrediente, ya que el organismo humano no presenta enzimas para poder hidrolizarla, por ello no participa directamente en procesos metabólicos básicos del organismo. Sin embargo, desempeña funciones fisiológicas importantes en el intestino, como es la estimulación de este. La fibra dietética puede dividirse en dos grupos en función de su solubilidad, presentando ambos grupos beneficios sobre la salud:

- Fibra dietética soluble: Este tipo de fibra es fermentable en el intestino grueso, aumentando la biomasa bacteriana, además de poseer una elevada capacidad de absorción de agua, originando soluciones de gran viscosidad. Como consecuencia de su viscosidad, enlentecen el vaciamiento gástrico y aumentan su distensión, prolongando la sensación de saciedad. Además, aumenta el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos en el intestino, lo que provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos (Escudero *et al.*, 2006).

- Fibra dietética insoluble: Este tipo de fibra es poco fermentable en el intestino grueso. Podemos destacar las celulosas y hemicelulosas tipo B. Son capaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad, lo que produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal (Escudero *et al.*, 2006); (García, 2009).

El aumento del volumen fecal, producido por la fibra insoluble, y el estiramiento de la pared intestinal producido por la biomasa bacteriana formada por la fibra soluble, provocan en el organismo una estimulación de los mecanorreceptores y producen reflejos de propulsión y evacuación (Escudero *et al.*, 2006).

1.4.2. Importancia de la fibra en la dieta y beneficios

La fibra dietética es considerada un componente de los alimentos muy versátil, proporcionando conocidos beneficios sobre la salud humana (Lebesi y Tzia, 2011). Se piensa que una dieta rica en fibra es protectora frente a los problemas gastrointestinales, como pueden ser el estreñimiento o cáncer de colon, así como enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad, entre otros (Fernández-López *et al.*, 2009; Sánchez-Zapata *et al.*, 2010; Lebesi y Tzia, 2011).

El aumento de ingestión de fibra reduce la presión arterial, los niveles de colesterol en sangre y ayuda a la pérdida de peso, ya que ayuda al sistema gastrointestinal a su funcionamiento normal. También está relacionado con la sensación de saciedad ya que la fibra absorbe agua y ocupa espacio en el estómago, disminuyendo así la necesidad de consumir mayor cantidad de alimentos (Sánchez-Zapata *et al.*, 2010) (Sánchez-Zapata, 2012).

1.4.3. Introducción de fibra a productos sin gluten

El enriquecimiento de los productos de panificación libres de gluten con fibra dietética confiere textura, capacidad gelificante espesante, emulgente y estabiliza las propiedades de los alimentos libres de gluten. La adición de fibras hasta 6g/100g de producto mejora el perfil nutricional del producto sin alterar considerablemente sus características sensoriales. Cuando se adicionan niveles de 9g/100g se consiguen productos con un alto contenido en fibras 218% superiores a productos de referencia, pero se presenta el inconveniente de presentar un gran deterioro en la calidad sensorial (Molina-Rosell, 2013).

En cuanto a las declaraciones nutricionales referentes a la fibra, el Reglamento (CE) 1924/2006, referente a las declaraciones nutricionales, establece que:

- Un alimento se podrá declarar fuente de fibra dietética si el producto contiene como mínimo 3g de fibra por cada 100g o, como mínimo, 1,5 g de fibra por 100 Kcal.
- Solamente en el caso en el que el producto contenga una cantidad superior a 6g de fibra por 100g o 3g de fibra por 100 Kcal, podrá declararse como alto en fibra.

1.5. INCORPORACIÓN DE COPRODUCTO DE CHUFA A PRODUCTOS

España, es un gran productor de chufa, utilizando posteriormente esta materia prima para la elaboración de horchata. Tras la fabricación de esta se genera una gran cantidad de residuos (aproximadamente un 60%). Este residuo constituye ya no solo un problema económico para las empresas, sino también un problema medioambiental. Es por ello que las industrias intentan darle un uso a este residuo.

El aprovechamiento de los subproductos puede servir para obtener un valor añadido a los productos donde podrían incluirse, mejorando sus características sensoriales, equilibrándolos en cuanto a las necesidades nutritivas, así como elaborando alimentos sensoriales (Mateos, 2008).

Primeramente se han realizado estudios para la utilización de este residuo como biomasa o para alimentación animal. En la actualidad existen numerosas publicaciones donde se intenta utilizar este coproducto en la industria alimentaria, adicionándolo para aumentar el contenido de fibra en productos cárnicos o en pastelería (Sánchez-Zapata *et al.*, 2010); (Sánchez-Zapata *et al.*, 2013); (Muñoz, 2013); (López Salinas, 2012).

En este estudio se va a realizar una adición de coproducto de chufa a magdalenas sin gluten. Este ingrediente tiene un bajo coste, presentando unas características sensoriales aceptables por parte de los consumidores. Se ha elegido este coproducto ya que existe un estudio anterior, elaborado por López Salinas (2012), donde se muestran parámetros importantes en la calidad organoléptica de las magdalenas tras la adición de dicho coproducto, como parámetros físicos (color y textura), y parámetros sensoriales, obteniendo mejores resultados de aceptabilidad al introducirlo en magdalenas, con respecto al otro coproducto evaluado.

En cuanto a la formulación llevada a cabo para la elaboración de las magdalenas sin gluten, Blanco (2014) obtiene mejores resultados para las magdalenas elaboradas con harina de arroz y aroma de canela, con respecto a las otras muestras elaboradas, por lo que, en este estudio se ha llevado a cabo dicha formulación.

Siguiendo las investigaciones de López Salinas (2012) y de Blanco (2014), se ha considerado realizar un estudio sobre magdalenas sin gluten con incorporación de coproducto de chufa, donde se determinan parámetros físicos, físico-químicos, químicos y sensoriales, ya que estos son importantes para evaluar la calidad de las magdalenas. Queda, por tanto, largo trabajo pendiente tras la selección de las concentraciones adecuadas de coproducto: determinar la composición química (incluido el contenido en fibra) y estudios para determinar la vida útil de las magdalenas, considerando, entre otros, criterios microbiológicos.

2. *OBJETIVOS*

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GENERALES

El objetivo general de este trabajo ha sido estudiar la aplicación de diferentes concentraciones de coproducto de chufa en magdalenas sin gluten y evaluar el efecto de su incorporación en distintos parámetros a lo largo del tiempo de estudio.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

En los objetivos generales se incluyen los siguientes objetivos particulares:

- Examinar el efecto de las diferentes concentraciones empleadas en este estudio (0 - 5 - 10 -15 %) en la elaboración de las magdalenas, mediante la evaluación de parámetros físicos de la masa (color).
- Analizar la influencia del uso de distintas concentraciones de coproducto de chufa en las magdalenas mediante la determinación de parámetros físicos para el día 0 (pérdida de peso tras el horneado y altura de copete) y parámetros físicos (densidad, pérdida de peso en paso del tiempo, diámetro, parámetros de color y textura), químicos (humedad), físico-químicos (pH y a_w) y sensoriales, a lo largo del tiempo de estudio llevado a cabo (días 0 a 4).

3. *MATERIALES Y MÉTODOS*

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Con el objetivo de obtener un producto apto para celíacos con un aporte nutricional extra de fibra, se decidió incorporar coproducto de chufa en concentraciones 0%, 5%, 10% y 15% a la fórmula patrón. Dicha fórmula ha sido elaborada con harina de arroz, ya que esta se caracteriza por tener un sabor suave, color blanco, de fácil digestión, baja en sodio y con alto contenido de carbohidratos fácilmente digeribles (Rosell y Gómez, 2006; Rosell y Marco, 2008).

3.1 MATERIAS PRIMAS Y FORMULACIÓN

Para la elaboración de las magdalenas se llevó a cabo la siguiente formulación, descrita por Blanco, (2014):

Tabla 3: Fórmula patrón llevada a cabo para la elaboración de las magdalenas

| Fórmula patrón | % (g/100g totales) |
|---|--------------------|
| Azúcar | 24,75 % |
| Huevos | 24,14 % |
| Harina | 21,00 % |
| Yogur | 15,50 % |
| Aceite de girasol | 12,40 % |
| Levadura química: | 1,98 % |
| - Gasificantes: difosfato disódico (E-450i) | |
| - Bicarbonato sódico (E-500ii) | |
| - Carbonato sódico (E-500i) | |
| - Antiglomerantes: sulfato cálcico (E-516) | |
| Canela | 0,15 % |
| NaCl | 0,04 % |

3.1.1 Proceso de obtención del coproducto de chufa

El coproducto utilizado para la elaboración de las magdalenas ha sido obtenido a partir de los residuos de la elaboración de la horchata de chufa, siguiendo el protocolo descrito por Sánchez-Zapata *et al.*, (2009). El proceso llevado a cabo, es el siguiente (Figura 7):

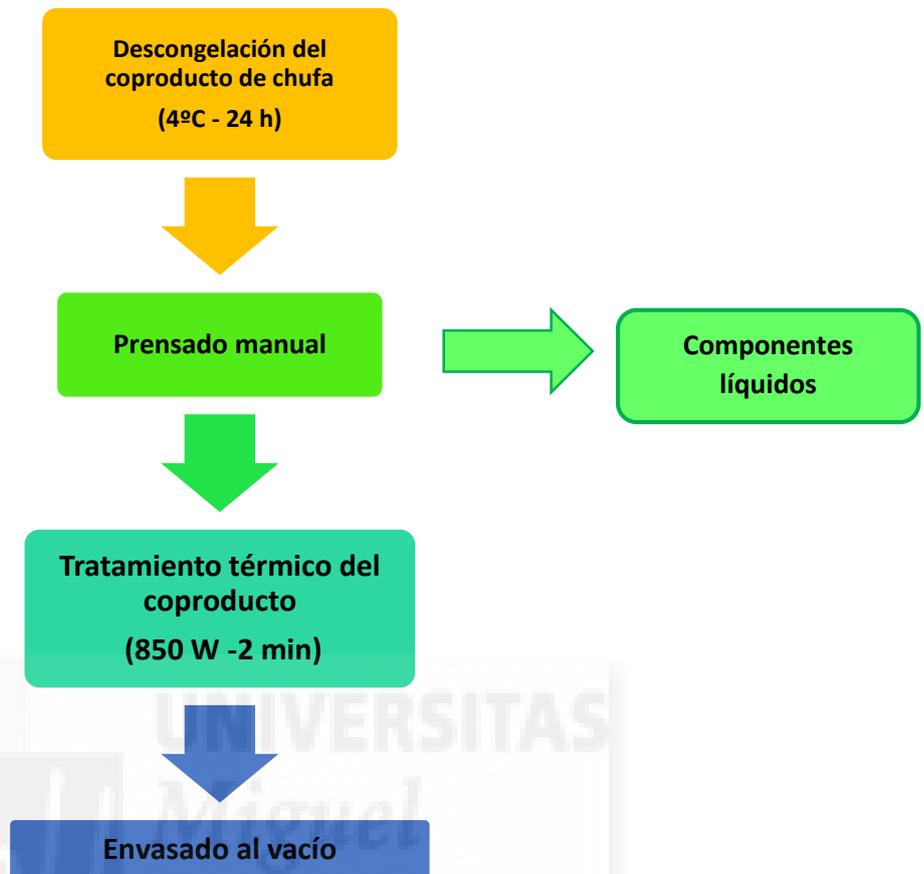


Figura 7: Diagrama de flujo de extracción de coproducto de chufa

1. Descongelación del coproducto de chufa

El coproducto de chufa, del cual obtendremos el ingrediente para nuestro producto, se encuentra congelado a -20°C para evitar su deterioro y poder alargar así su vida útil. Para la elaboración de las magdalenas se realizó una descongelación previa manteniendo el coproducto en refrigeración durante 24 horas a 4°C para poder realizar la extracción total del coproducto.



Figura 8: Coproducto de chufa congelado

2. Extracción del coproducto de chufa

Para realizar la extracción del coproducto se necesitarán paños filtrantes. Se depositará el coproducto en los paños filtrantes y manualmente se prensará hasta exprimir la mayor cantidad posible de líquido retenido, obteniendo un ingrediente seco.



Figura 9: Coproducto de chufa en paño filtrante, listo para prensar

3. Tratamiento térmico del coproducto

Una vez realizada la extracción del coproducto se realizará un tratamiento térmico de este para la estabilización del ingrediente. Para ello, se ha realizado un tratamiento en el microondas a 850W durante 2 minutos. Se realiza en el microondas, ya que este, además de realizar un tratamiento térmico rápido, elimina agua, quedando las muestras con un contenido más bajo de agua y ayudando así a su conservación.



Figura 10: Coproducto de chufa tras el tratamiento térmico

4. Envasado al vacío

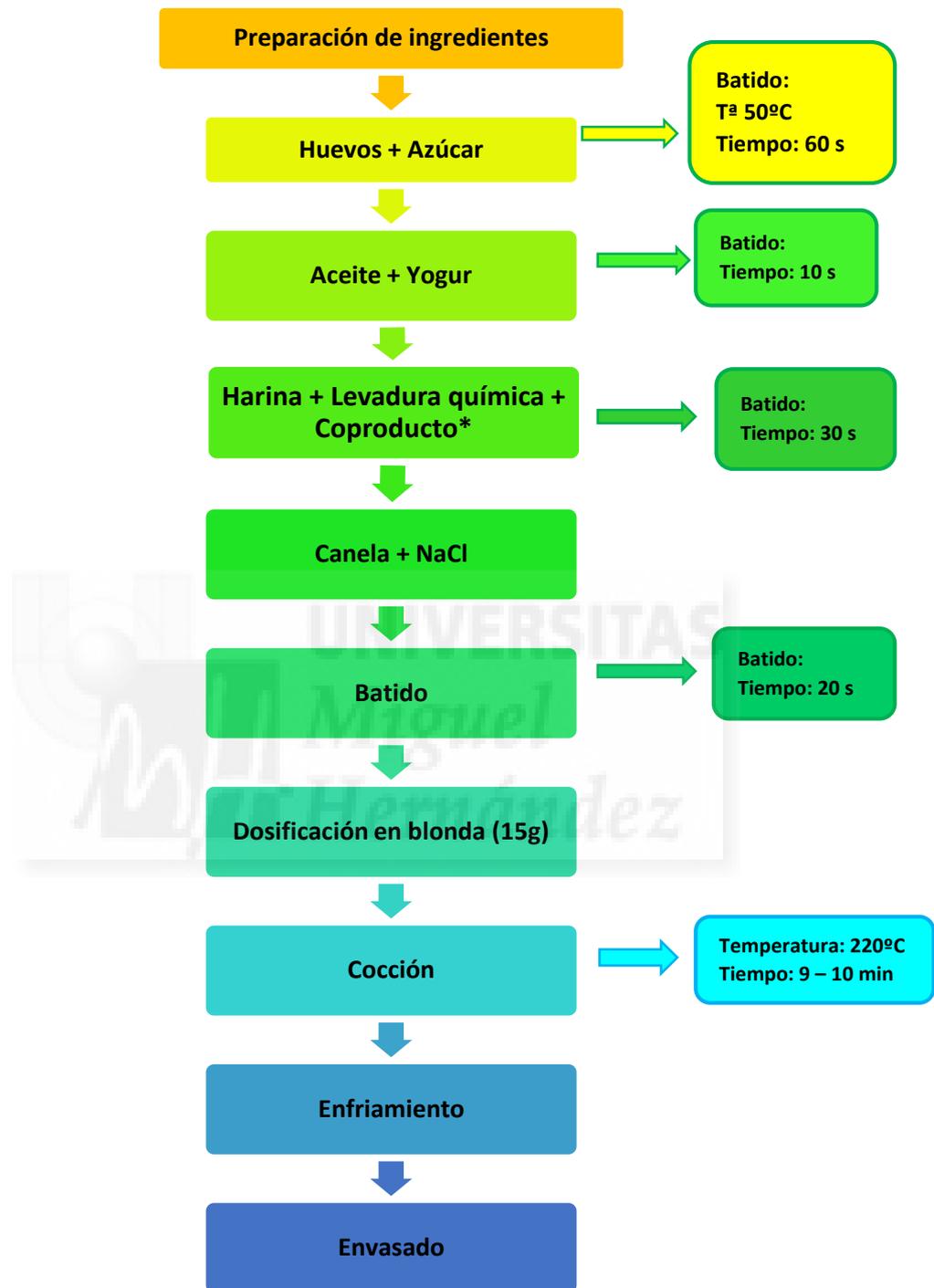
Para una mejor conservación, y asegurarnos de que no se realiza una contaminación microbiana, el coproducto resultante se envasa al vacío con la envasadora EGARVAC.



Figura 11: Izq. envasadora a vacío EGARVAC. Drcha. Coproducto envasado al vacío

3.1.2. Proceso de elaboración de las magdalenas

Para la elaboración de las magdalenas se ha llevado a cabo el procedimiento descrito por Blanco (2014), adicionando a este procedimiento el coproducto de chufa en diferentes concentraciones (0%, 5%, 10% y 15%). El diagrama de flujo para dicha elaboración aparece en la Figura 12:



*Adición de coproducto en diferente concentración excepto a la muestra control

Figura 12: Proceso de elaboración de magdalenas con coproducto de chufa

1. Preparación de ingredientes

El primer paso para la elaboración de los lotes es la selección de ingredientes y la pesada de estos según los porcentajes citados anteriormente. Este paso se realiza con la balanza analítica Gram serie AM modelo AM-3000 (Gram precisión, España). Los ingredientes han sido proporcionados por la Universidad Miguel Hernández de Elche, obtenidos en el comercio local.



Figura 13: Ingredientes seleccionados

2. Incorporación de huevos y azúcar. Batido

Cuando ya están todos los ingredientes pesados se van incorporando poco a poco a la batidora THERMOMIX Vorwek TM21. Los primeros ingredientes en añadirse serán los huevos y el azúcar. Se realizará un batido a velocidad 3 y 50°C de temperatura con el fin de facilitar la disolución del azúcar en el medio.



Figura 14: Batidora utilizada, Thermomix Vorwek TM21

3. Incorporación de aceite y yogur. Batido

Se adiciona el aceite y el yogur y se realiza un mezclado a velocidad 2 durante 10 segundos. La adición de yogur en lugar de leche provocará una mejora en la textura del producto final, además de aromas característicos del producto fermentado.

4. Incorporación de Harina y levadura

Posteriormente, se añaden la harina y la levadura. Se realiza un batido a velocidad 3 durante 30 segundos, con la finalidad de formar una masa al producirse la unión de ingredientes. En este paso también se añade el coproducto de chufa, según las cantidades requeridas para cada tipo de muestra.

5. Incorporación de canela y sal. Batido

Por último, añadimos la canela y la sal. La adición de canela nos proporcionará el aroma y sabor característico. Por otro lado, la sal adicionada proporcionará a la masa una mejor textura, ya que retiene agua, además de una potenciación de sabores. Tras esta adición se lleva a cabo un batido de la masa durante 20 segundos a velocidad 3, con el fin de garantizar la completa unión de ingredientes.

6. Dosificación en blonda

Una vez formada la masa se realiza el llenado de las blondas. Para ello se depositan 15 gramos de la masa formada en una blonda de papel, la cual se introducirá en un molde de acero antiadherente WILTON, con capacidad para 24 mini-magdalenas de base 3,5cm, para asegurar así que en el horneado todas las magdalenas terminen siendo lo más uniformes posibles, con el fin de conseguir unas muestras homogéneas.



Figura 15: Llenado de blondas y molde

7. Cocción

Se precalienta el horno a 220°C mientras se preparan las muestras. Una vez alcanzada la temperatura se introducen las muestras y se hornean durante 9 -10 minutos. Durante este tiempo se podrán observar los cambios producidos por la masa, como son el aumento de su volumen y las reacciones de Maillard, entre otros fenómenos.



Figura 16: Cocción de las muestras

8. Enfriamiento

Tras la cocción, se dejan enfriar a temperatura ambiente antes de su envasado por lotes para las determinaciones. Es importante que las muestras se enfríen completamente antes de realizar el envasado para evitar cambios en la forma o en la textura, así como cambios organolépticos no deseados y aparición de mohos de forma prematura.



Figura 17: Enfriamiento a temperatura ambiente

9. Envasado.

Por último, para mantener su óptima conservación, se realiza un sellado con la selladora - envasadora a vacío EGARVAC.



Figura 18: Izquierda, envasadora a vacío. Derecha, magdalenas envasadas por lotes y días

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente estudio se ha dividido en dos partes experimentales:

- Determinaciones de la masa elaborada (día 0):
 - ✓ Análisis físicos
 - Parámetros de color
- Determinaciones de las magdalenas:
 - ✓ Análisis físicos
 - Pérdida de peso por el horneado (día 0)
 - Altura de copete (día 0)
 - Densidad (días 0, 2 y 4)
 - Pérdida de peso en el paso del tiempo (días 0, 2 y 4)
 - Diámetro (días 0, 2 y 4)
 - Parámetros de color (días 1, 2 y 4)
 - Textura (días 1, 2 y 4)
 - ✓ Análisis físico – químicos
 - pH (días 0, 2 y 4)
 - actividad de agua (a_w) (días 0, 2 y 4)
 - ✓ Análisis Químicos
 - Humedad (días 0, 2 y 4)
 - ✓ Análisis sensorial (días 1, 2 y 4)

El número de mediciones de textura fueron siete (Gómez *et al.*, 2008); (Ji *et al.*, 2007), siendo nueve las mediciones realizadas para la determinación de color (Baixauli *et al.*, 2008); (Codina Torrella *et al.*, 2015). Las determinaciones de diámetro, densidad, y pH se realizaron por triplicado, y la a_w y humedad se realizó por duplicado (Codina Torrella *et al.*, 2015).

3.3 METODOLOGÍA ANALÍTICA

3.3.1 DETERMINACIONES REALIZADAS A LA MASA

3.3.1.1 DETERMINACIONES FÍSICAS

3.3.1.1.1 Medición de color de la masa de las magdalenas

Las determinaciones de color de la masa se realizaron con el colorímetro MINOLTA modelo CR – 300 (Minolta Camera Co. Osaka, Japan), mediante tubos de cristal de baja reflectancia (López Salinas, 2012).

Con dicho colorímetro se obtuvieron datos de luminosidad (L^*), rango de color de rojo - verde (a^*), rango de color de amarillo - azul (b^*). Con los datos obtenidos y de acuerdo con las normas UNE (UNE, 1984), se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Croma (C^*): distinción de un color por su saturación.

$$C^* = [(a^2 + b^2)]^{1/2}$$

- Tono (H^*): Sensación visual por la que se diferencian los colores.

$$H^* = \arctg (b^* / a^*)$$

Se llevaron a cabo nueve determinaciones de cada lote de muestras.



Figura 19: Colorímetro Minolta realizando determinaciones de la masa

3.3.2 DETERMINACIONES REALIZADAS A LAS MAGDALENAS

3.3.2.1 DETERMINACIONES FÍSICAS

3.3.2.1.1 Pérdida de peso tras el horneado, a tiempo cero

La primera determinación realizada tras el horneado es la pérdida de peso tras el horneado. Para ello se realizó una pesada previa de la blanda con la masa, y posteriormente se realizó una pesada de la magdalena horneada. Con estas mediciones se pudo calcular la pérdida de peso tras el horneado por diferencia de pesada.

3.3.2.1.2 Altura de copete

Se midió la altura de las muestras de cada lote, ya que este parámetro se considera importante por parte de los consumidores a la hora de evaluar este tipo de productos.

Las mediciones realizadas fueron:

- Distancia desde la base hasta el comienzo del copete de la magdalena. Este punto es el más desfavorable, ya que uno de los factores de calidad de este producto de bollería es la altura de copete.
- Altura total: medición desde la base a la cúspide de la muestra. Es considerado la altura más favorable.



Figura 20: Altura de copete

3.3.2.1.3 Densidad de la magdalena

Para la determinación de la densidad de las muestras se utilizó el método de desplazamiento de semillas (Garda M. *et al.*, 2012).

Para llevar el método a cabo se llenó una probeta de 2 litros con semillas de lino hasta un volumen conocido. Seguidamente se introdujo la muestra a determinar en la probeta y se cubrió esta con lino. Por último se anotó el volumen ocupado, pudiendo determinar así la densidad de las muestras por diferencia de volúmenes. Esta medición se hace por triplicado en cada lote de muestras.

3.3.2.1.4 Pérdida de peso en el paso del tiempo

Se realizó una pesada de cada una de las muestras tras el horneado durante los cinco días de estudio. Con estos datos, se pudo calcular el porcentaje de la pérdida de peso en su evolución en el tiempo. Para su determinación se usó una balanza de gran precisión Gram serie AM modelo AM -3000 (Gram Precisión, España).



Figura 21: Determinación de la pérdida de peso

3.3.2.1.5 Diámetro de las muestras

Se midió el diámetro de tres muestras de cada lote y de cada día de almacenamiento con un pie de rey electrónico Shevkani y Singh (2014), (Martínez –Cervera S., *et al.* 2015).



Figura 22: Mediciones de diámetro

3.3.2.1.6 Color externo e interno de la magdalena

Para la medición de color externo e interno de las magdalenas se utilizó el espectrofotómetro Minolta Camera Co. CM 700 D (Osaka, Japan) con iluminante D₆₅ y un observador estándar de 10°.

Previamente se realizó una calibración con observantes de color negro y blanco, suministrado por el fabricante. Se han determinado las coordenadas de luminosidad (L*), rojo-verde (a*), amarillo –azul (b*), croma (C*) y tono (h*), recogiendo 9 resultados por cada lote de muestras (3 x 3) (Codina – Torrella, *et al.*, 2015).



Figura 23: Espectrofotómetro Minolta Camera CM 700 D

3.3.2.1.7 Determinación de la textura de las magdalenas

La textura se determinó con el texturómetro TA – XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, England), realizando una compresión del 25%.

Las determinaciones se realizaron con 7 muestras de cada lote. En dichas determinaciones se tomaron lecturas de la firmeza, definida como la fuerza requerida para deformar un alimento, y lecturas de esponjosidad, definida como la rapidez de recuperación de la muestra.

La preparación del texturómetro se realizó con los siguientes parámetros:

- Modo: Medición de la fuerza de compresión
- Opción: Sostenga hasta Tiempo
- Pre-Test de Velocidad: 1,0 mm / s
- Test de Velocidad: 1,0 mm / s
- Post-Test de velocidad: 10,0 mm / s
- Variedad: 25%

- Tiempo: 60s
- Tipo de disparo: Auto - 5g
- Modo de tara: Auto
- Velocidad de datos: 200 pps Adquisición
- Sonda: AACC 11mm Cylinder Probe, using 5kg load cell

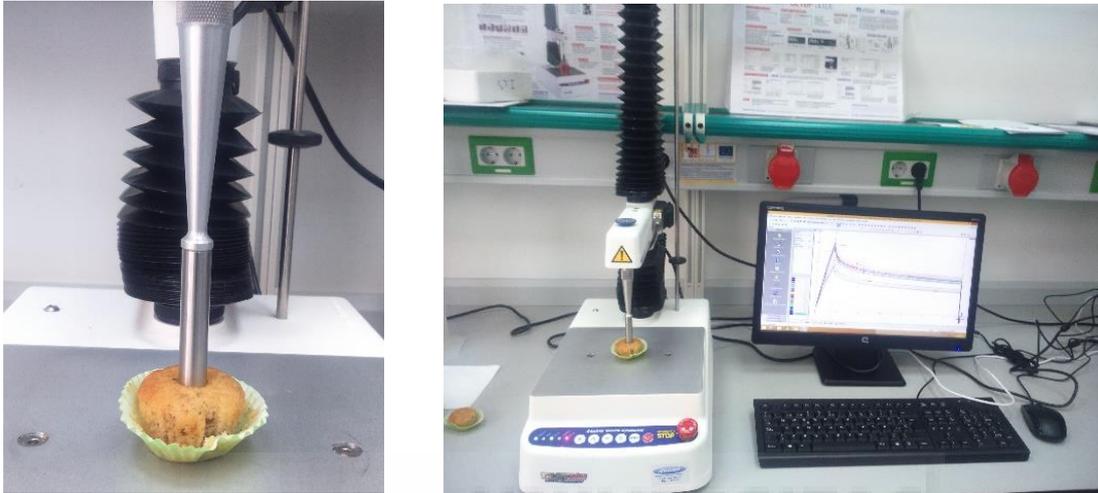


Figura 24: Texturómetro con sonda AACC 11mm realizando determinaciones

3.3.2.2 ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DE LAS MAGDALENAS

3.3.2.2.1 Determinación de pH

Se midió el pH con el pHmetro CRISON GLP 21 con electrodo de penetración o punción 50 T, previamente calibrado con disoluciones tampón de pH 4,01- 7,00 y 9,2. Se determinaron 3 muestras de cada formulación.

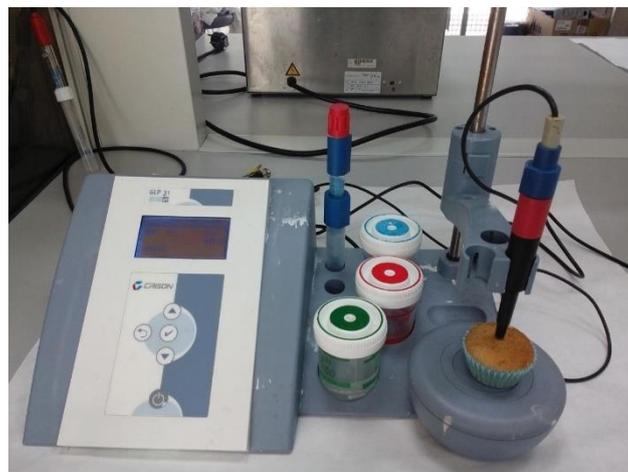


Figura 25: pHmetro Crison GLP 21 con electrodo de punción

3.3.2.2 Determinación de la actividad de agua

La actividad de agua (A_w) se determinó a 25°C usando un higrómetro de punto de rocío NOVASINA TH200 (Novasina, Axair Ltd, Pfaeffikon, Switzerland).



Figura 26: Higrómetro Novasina para la determinación de A_w

3.3.2.3 ANÁLISIS QUÍMICOS DE LAS MAGDALENAS

3.3.2.3.1 Determinación de la humedad

Para la medición de la humedad de las muestras se introdujo 1 gramo de magdalena en un plato de aluminio para posteriormente introducir este en la balanza de desecación por infrarrojos Moisture Analyzer LP16J, Mettler Toledo, Switzerland). Se tomaron dos determinaciones de cada formulación.



Figura 27: Balanza de desecación Mettler Toledo utilizada

3.3.2.4 ANÁLISIS SENSORIAL

Los análisis sensoriales en los productos de alimentación son realizados para determinar la aceptación de los individuos, pudiendo así determinar qué parámetros se ajustan más a una aceptación global. En dicho análisis se evalúan factores como son el color, aroma, dulzor o esponjosidad, entre otros. Este análisis es necesario realizarlo cuando se elaboran nuevos productos, ya que así se puede realizar una estimación del éxito de este en el mercado.

En este estudio se realizaron catas durante los días 1, 2 y 4, ya que nos interesaba evaluar la evolución de los parámetros durante el tiempo de almacenamiento, así como la aceptación tras el almacenamiento por parte de los consumidores.

Para la realización de este parámetro se realizaron 20 catas hedónicas, llevadas a cabo por el personal disponible de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela. Los jueces catadores evaluaron la forma, color exterior, porosidad, color interno, aroma, sabor, dulzor, esponjosidad, detección de partículas de fibra y, por último, realizaron una aceptación general del producto. A través de una escala hedónica no estructurada de 5 puntos graduada desde “me gusta extremadamente” a “me desagrada extremadamente”, los ponentes realizaron su valoración personal del producto.

Las muestras se presentaron en platos previamente marcados con un código de producto, como se muestra en la Figura 28:



Figura 28: Muestras para análisis sensorial y sala de catas

Los catadores, los cuales se llevaron a cabo el análisis sensorial de las magdalenas en una sala de catas homologada (UNE 87 -008, 1992), completaron la siguiente hoja de catas, siguiendo las instrucciones indicadas en dicha hoja:

CATA DE MAGDALENAS SIN GLUTEN CON COPRODUCTO DE CHUFA

Se trata de una cata a ciegas de magdalenas para celíacos con adición de coproducto de chufa. Cada catador, podrá recibir una magdalena con distintas concentraciones de coproducto de chufa. Deberá opinar, personalmente sobre su aspecto, aroma, textura, sabor...

Las magdalenas han sido elaboradas de igual manera, con los mismos ingredientes. La finalidad de esta cata es meramente informativa.

Nº consumidor: _____

Código muestra: _____

Aspecto:

Sin probar la muestra, por favor indique, su agrado o desagrado, en una escala de 1 a 5, donde 1 significa me desagrada extremadamente, 2 me desagrada, 3 ni me gusta ni me desagrada, 4 me gusta y 5 me gusta extremadamente; de los siguientes descriptores:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|---|---|---|---|---|
| Forma | | | | | |
| Color exterior | | | | | |

Ahora, dele la vuelta a la muestra y obsérvela por dentro. Indique, como en la escala anterior, su grado de agrado - desagrado:

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------------|---|---|---|---|---|
| Porosidad | | | | | |
| Color interior | | | | | |

Aroma y sabor:

Huela y pruebe la muestra:

Indique la intensidad del aroma, sabor, dulzor, esponjosidad y detección de partículas de fibra. Siendo: 1= muy poco intenso, 2=poco intenso, 3= intensidad adecuada, 4= intensidad fuerte, 5= muy intenso.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-------------------------------|---|---|---|---|---|
| Aroma | | | | | |
| Sabor | | | | | |
| Dulzor | | | | | |
| Esponjosidad | | | | | |
| Detección partículas de fibra | | | | | |

ACEPTACIÓN GENERAL:

Indique su grado de satisfacción con la misma, siendo: 1= me desagrada mucho; 5= me gusta extremadamente.

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------|---|---|---|---|---|
| Aceptación general | | | | | |

OBSERVACIONES:

3.3.4 METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el software SPSS 20.0 para Windows (SPSS Inc. Chicago, Illinois). Los diseños estadísticos, aplicados a cada una de las experiencias, fueron los siguientes:

- Para determinar el efecto del porcentaje de coproducto de chufa incorporado sobre parámetros y magnitudes psicofísicas de color de la masa, se realizó un ANOVA de un factor (concentración de coproducto añadido con tantos niveles como porcentajes se ensayaron. Se realizaron contrastes ortogonales aplicando el test de Tukey, con un intervalo de confianza del 95% ($p < 0,05$), cuando los factores mostraban diferencias significativas entre las medias.
- Para el estudio del efecto del porcentaje de coproducto de chufa incorporado y del tiempo de conservación (días 0, 1, 2 y 4), sobre los parámetros físicos, físico-químicos, químicos y sensoriales de las magdalenas durante el tiempo de estudio, así como de la interacción de dichos factores se empleó el análisis de la varianza multifactorial (ANOVA). Se realizaron contrastes ortogonales aplicando el test de Tukey, con un intervalo de confianza del 95% ($p < 0,05$), para aquellos factores que mostraban diferencias significativas entre las medias.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DETERMINACIONES REALIZADAS A LA MASA

4.1.1 DETERMINACIONES FÍSICAS

Para la masa, se han realizado determinaciones para el parámetro color. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

4.1.1.1. Color de la masa

Se realizaron mediciones de color de la masa para ver de qué manera afecta la introducción de coproducto de chufa en las magdalenas. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) se muestran en la Tabla 4:

Tabla 4: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el color de la masa de las magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Factor | Factor variable | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrática | F | Sig. |
|------------------|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------|------|
| Color de la masa | Concentración de Coproducto | L* | 117,484 | 3 | 39,161 | 168,798 | ,000 |
| | | a* | 3,482 | 3 | 1,161 | 79,626 | ,000 |
| | | b* | 4,170 | 3 | 1,390 | 24,237 | ,000 |
| | | C* _{ab} | 773,083 | 3 | 257,694 | 23,301 | ,000 |
| | | h _{ab} | 8,019 | 3 | ,006 | 81,868 | ,000 |

Los resultados de la Tabla 4, muestran que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para todos los parámetros de color de las muestras, en cuanto a la concentración de coproducto añadida se refiere.

A continuación se muestran los resultados del test de Tukey, donde pueden observarse las similitudes y diferencias entre las muestras con diferentes concentraciones de coproducto de chufa. Estos datos quedan reflejados en la Tabla 5:

Tabla 5: Resultados del test de Tukey de las coordenadas de color CIELAB (L*, a*, b*) y de las magnitudes psicofísicas (C*_{ab} y h_{ab})

| VARIABLE | Concentración de Coproducto (%) | | | |
|------------------|---------------------------------|---|----|----|
| | 0 | 5 | 10 | 15 |
| L* | A | b | c | d |
| a* | A | a | a | b |
| b* | B | b | a | a |
| C* _{ab} | B | b | a | a |
| h _{ab} | B | b | b | a |

a-d: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios

Tras observar los resultados del test de Tukey, reflejados en la Tabla 5, se establece una diferencia significativa en todos los parámetros de color de la masa elaborada con diferentes concentraciones de coproducto de chufa. A continuación se realiza una explicación de cada coordenada y magnitud psicofísica, junto a sus correspondientes figuras.

Los resultados del test Tukey, los cuales aparecen en la Tabla 5, muestran que hay diferencias significativas en la luminosidad (L^*) para cada una de las concentraciones, presentando unos valores de luminosidad en descenso progresivo a medida que aumenta la concentración de coproducto en la muestra. Como podemos observar, tenemos desde valores de 70,53 (en el caso de la muestra con 0% de coproducto) hasta valores de 65,4744 como es el caso de la muestra con un 15% de coproducto. Este descenso de luminosidad puede deberse a la elevada CRA del coproducto de chufa (Sánchez – Zapata *et al.*, 2009), que hace que el agua quede retenida por el coproducto y que, por tanto, la masa de las muestras presenten una menor luminosidad, proporcional a la cantidad de coproducto añadida.

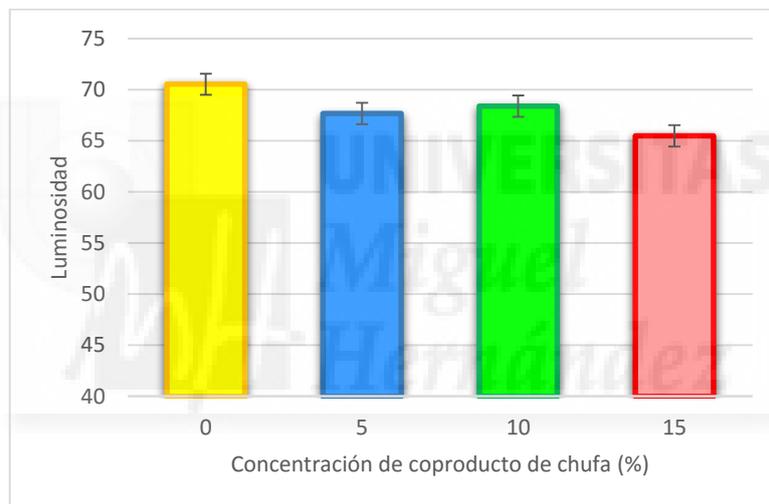


Figura 29: Valores de la coordenada de color Luminosidad (L^*) de la masa de magdalena con coproducto de chufa

Estudios realizados por Machado *et al.*, (2015), muestran una luminosidad de los productos elaborados con harina de arroz de con valores de 80 aproximadamente. Por otro lado, el estudio realizado por Codina – Torrella *et al.*, (2015) muestra que el coproducto de chufa tiene un valor aproximado medio de 40 en cuanto a la luminosidad, por lo que es razonable el descenso de luminosidad progresivo que se produce a medida que aumentamos la cantidad de coproducto en las muestras.

Por su parte, Shearer y Davies (2005), en su estudio de elaboración de magdalenas con linaza, observó también que la adición de linaza a las magdalenas provocaba un descenso de luminosidad en estas.

López Salinas (2012), realiza una incorporación de coproducto de chufa y de naranja a magdalenas, obteniendo también un descenso de luminosidad progresiva en ambos casos, como ha ocurrido en este estudio.

En cuanto a la coordenada a^* (rango rojo –verde), se puede observar en la Figura 30 cómo se presentan valores similares para las concentraciones de coproducto 0, 5 y 10%. Sin embargo, se produce un gran aumento de la componente roja en las muestras realizadas con un 15% de coproducto.

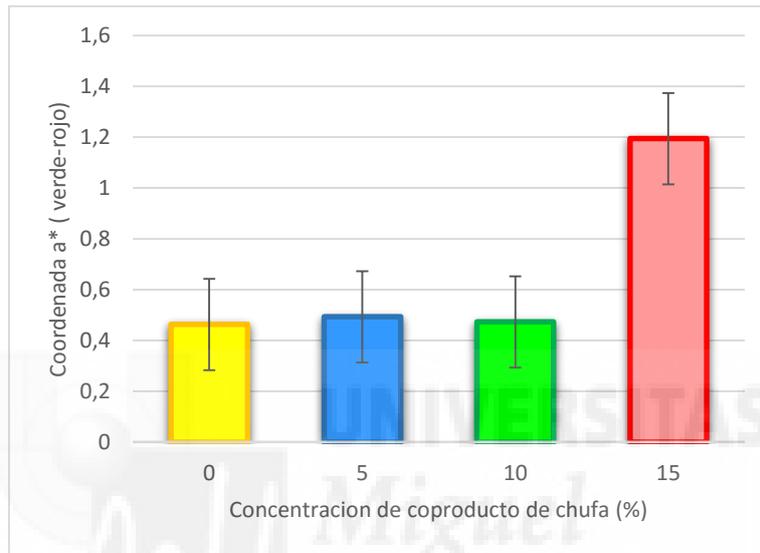


Figura 30: Valores de la coordenada de color rojo –verde (a^*) de la masa de magdalena con coproducto de chufa

El estudio realizado por López Salinas (2012), donde se determina este parámetro en magdalenas con coproducto de chufa y magdalenas con coproducto de naranja, se obtienen resultados similares, observándose también un crecimiento brusco de la coordenada a^* tras la adición de un 15% de coproducto de chufa a la masa.

Shearer y Davies (2005), en su estudio anteriormente citado sobre las magdalenas con linaza, también obtuvieron un aumento de la componente roja a medida que aumentaba la concentración de linaza en las muestras.

Este aumento puede ser debido a que el valor de a^* del coproducto de chufa, aproximadamente es de 10, (Codina-Torrella *et al.*, 2015) por lo que hace que se produzca un aumento en la coordenada a medida que se va añadiendo más cantidad de coproducto.

La Figura 31, muestra la representación gráfica de los valores obtenidos analíticamente para la coordenada b^* . Como podemos observar, se producen valores dispuestos a pares, donde se presentan valores similares entre las muestras con 0% y 5% de coproducto de chufa, y entre las muestras 10 y 15% de coproducto.

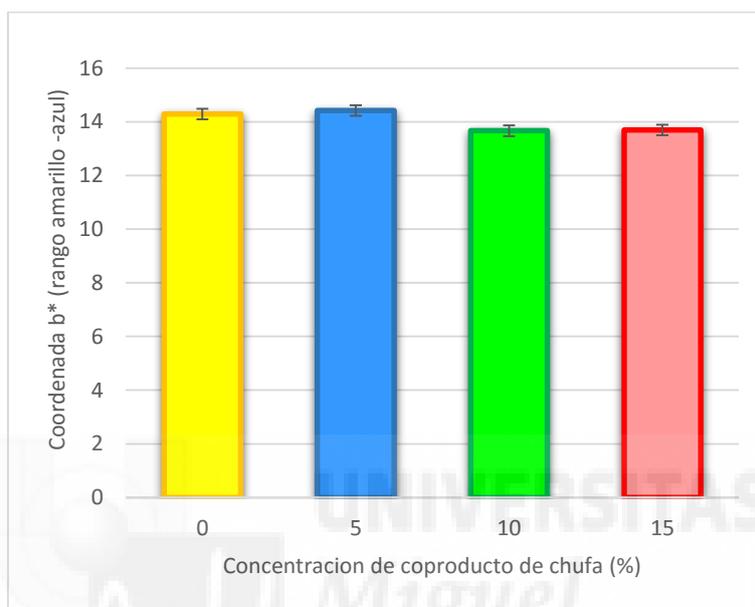


Figura 31: Valores de la coordenada de color amarillo – azul (b^*) de la masa de magdalena con coproducto de chufa

Estudios llevados a cabo por Shearer y Davies (2005). Donde determinan las propiedades físico-químicas de magdalenas elaboradas con linaza, se observa que la coordenada b^* de la masa disminuye a medida que aumenta el contenido de linaza en las magdalenas, como ha ocurrido en este caso.

En el estudio realizados por Eglantina y Culetu (2015), donde se incorpora salvado de avena a galletas sin gluten y en el estudio de Goswami *et al.* (2015) donde se añade mijo a magdalenas, también ocurre lo mismo que ha ocurrido en este estudio.

En cuanto al croma, como bien se muestra en la Figura 32, se producen unos resultados similares a pares, donde las concentraciones 0-5% presentan unos valores próximos a 14,3 y las concentraciones 10 – 15% presentan unos valores de aproximadamente 13,7.

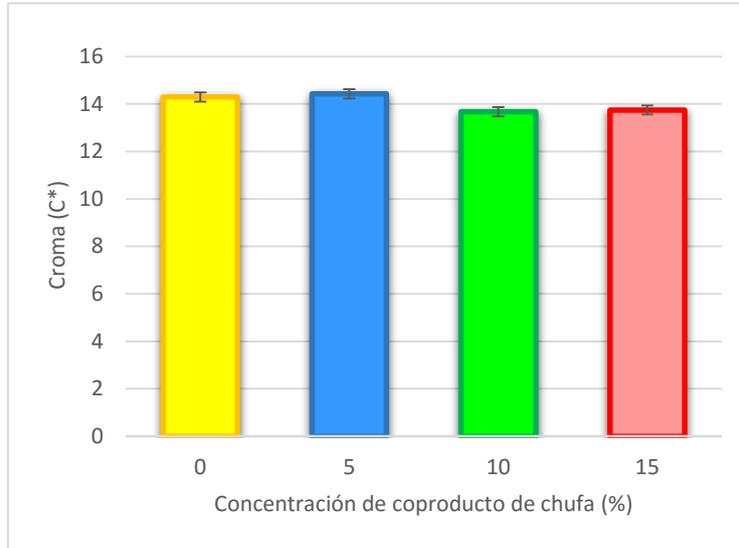


Figura 32: Valores de la magnitud psicofísica Croma (C^*_{ab}) de la masa de magdalena con coproducto de chufa

Se puede observar cómo las Figuras 32 y 31, poseen resultados similares, disminuyendo la coordenadas b^* y el croma (C^*) a pares, (0-5% y 10-15%). Con esta representación gráfica de los resultados obtenidos podemos afirmar que b^* y c^* están relacionadas, por lo que la evolución de la magnitud Croma dependerá de la evolución de la coordenada b^* (rango azul –amarillo).

Estudios realizados por Pérez Álvarez y Fernández López (2001) determinan que la magnitud croma (intensidad de color) se comporta en muchos casos de forma similar a la coordenada b^* , por lo que son razonables los resultados obtenidos.

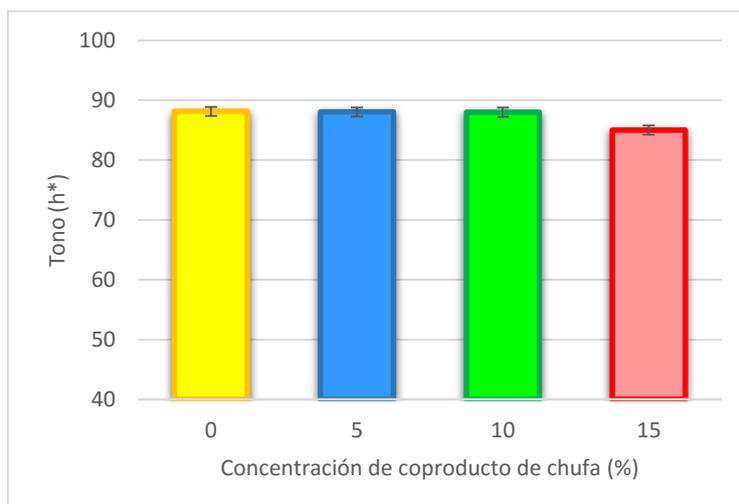


Figura 33: Valores de la magnitud psicofísica Tono (h^*_{ab}) de la masa de magdalena con coproducto de chufa

El test ANOVA, nos indica que existen diferencias significativas en el tono de las diferentes muestras analizadas. Según los resultados del test de Tukey (Tabla 5), y como podemos observar en la Figura 33, se producen unos valores similares para las muestras con una concentración de coproducto 0%, 5% y 10%, presentando un ligero descenso cuando se añade una concentración del 15%.

López Salinas (2012), en su estudio sobre la incorporación de coproducto de chufa y naranja a magdalenas, obtuvo resultados sin cambios significativos, produciéndose, al igual que en este estudio, un descenso brusco al añadir una cantidad del 15% y cantidades superiores, lo que sugiere que la incorporación de coproducto de chufa en bajas concentraciones no afecta a este parámetro, pero en grandes concentraciones si tiene unos cambios significativos.

4.2. DETERMINACIONES REALIZADAS A LAS MAGDALENAS

Una vez realizadas las determinaciones detalladas anteriormente se llevó a cabo la cocción de las muestras. Tras esta cocción se realizaron nuevas determinaciones, detalladas a continuación:

4.2.1. DETERMINACIONES FÍSICAS

4.2.1.1. Pérdida de peso producida tras el horneado

La primera determinación realizada tras la cocción de las muestras fue la medición de la pérdida de peso (día 0). Esta medición debe realizarse rápidamente tras el horneado, ya que si las muestras están en contacto con la atmósfera durante un largo periodo de tiempo sufren riesgos de tener una ganancia o pérdida de humedad, presentando como consecuencia una mayor o menor cantidad de peso, presentando como consecuencia unos valores erróneos.

Se realizaron mediciones del peso inicial de la masa y del peso tras el horneado para poder de esta manera la pérdida de peso producida tras el horneado. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA), mostrados en la Tabla 6, muestran que hay diferencias significativas en las muestras según la concentración de coproducto añadida ($p < 0,05$).

Tabla 6: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso tras el horneado de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Factor | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrática | F | Sig. |
|---------------------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------|------|
| Pérdida de peso por el horneado | Concentración de coproducto | 28,124 | 3 | 9,375 | 11,092 | ,000 |

A continuación se muestran los resultados del test de Tukey, donde pueden observarse las similitudes y diferencias entre las muestras con diferentes concentraciones de coproducto de chufa. Estos datos quedan reflejados en la Tabla 7.

Tabla 7: Resultados del test Tukey para la pérdida de peso tras el horneado de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | Concentración de coproducto (%) | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|---|----|----|
| Pérdida de peso tras horneado | 0 | 5 | 10 | 15 |
| | B | B | A | A |

A-B: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios

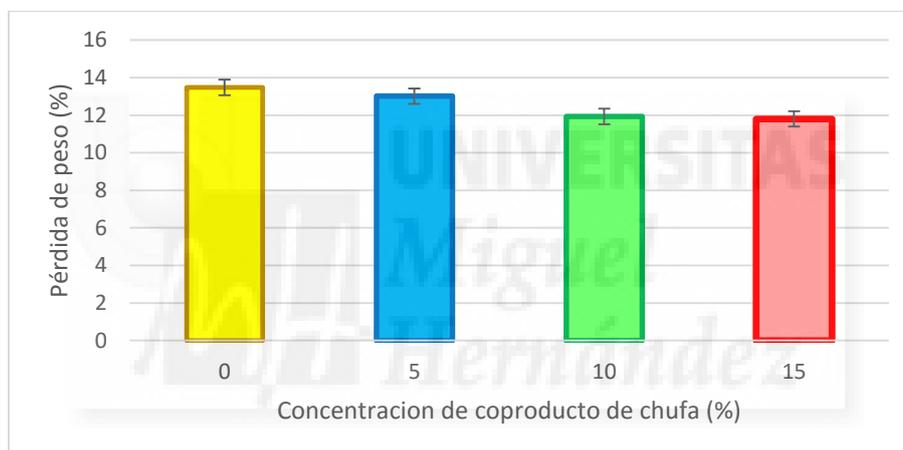


Figura 34: Valores de la pérdida de peso producida tras la cocción de magdalenas con coproducto de chufa previa al horneado

Tras observar los resultados obtenidos en el test Tukey (Tabla 7) y la representación gráfica en la Figura 34, podemos decir que se produce una mayor pérdida de peso con concentraciones de coproducto de 0 y 5% (en torno a un 13 -13,5%), y una pérdida menor con concentraciones de fibra elevada, como es en nuestro caso las muestras con concentraciones de fibra 10 y 15%.

La fibra, en este caso el coproducto de chufa, tiene elevada CRA (Sánchez – Zapata et al., 2009) por lo que la explicación de los resultados obtenidos puede atribuirse a que el agua queda retenida en la muestra gracias a la fibra del coproducto, produciendo así una menor pérdida de peso total tras el horneado del este.

En el estudio realizado por Garda *et al.* (2012), donde se realiza una comparación de los parámetros físico –químicos de panes sin gluten y panes sin gluten con adición de chía y lino, obtienen como resultados una menor pérdida de agua en los al introducir chía

y lino, debido a la elevada cantidad de fibra dietética que tiene, ya que la fibra actúa reteniendo el agua, y aumentando la viscosidad, ayudando así a la formación de un gel (Shearer y Davies, 2005).

Por el contrario, el estudio realizado por Goswami *et al.* (2015), donde se realiza una adición de mijo a magdalenas, se obtienen como resultados una mayor pérdida de peso tras el horneado a medida que aumenta la cantidad de mijo en la muestra.

4.2.1.2. Altura de copete

La altura de copete puede definirse como la diferencia entre la altura máxima y la altura mínima de la magdalena tras el horneado (día 0). Este parámetro es importante para la aceptación por parte de los consumidores, ya que los productos de pastelería – repostería con mayor volumen son, por lo general, preferidos (Machado *et al.*, 2015).

Tabla 8: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la altura de copete de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Factor | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrática | F | Sig. |
|------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------|------------------|------|------|
| Altura de copete | Concentración de Coproducto | 1,067 | 3 | ,056 | ,428 | ,739 |

Como se puede ver en la Tabla 8, donde se realiza el análisis de varianza (ANOVA), no existen diferencias significativas en cuanto a la altura de copete tras el horneado.

Estudios realizados por Machado *et al.*, (2015), donde se produce una adición de quinoa, amaranto y edulcorantes a panes sin gluten, obtiene como resultados que la adición de quinoa, amaranto y edulcorantes no presentan diferencias estadísticas ($p > 0,05$) con respecto a la muestra control.

La adición de hidrocoloides a panes sin gluten, realizada por Sciarini *et al.* (2012), tampoco encuentra ninguna diferencia estadística entre el volumen de los panes elaborados con hidrocoloides y panes sin la adición de estos.

En cambio, el estudio realizado por López Salinas (2012), donde se incorpora coproducto de chufa y de naranja a magdalenas con gluten, presenta unos resultados diferentes a los de este estudio, ya que presenta diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$). Al igual que en el estudio de Goswami *et al.* (2015), donde se adiciona mijo a magdalenas, obteniendo también unos resultados menores de altura a medida que aumenta la cantidad de mijo en la muestra.

Otros estudios, donde se incorpora lino a magdalenas (Shearer y Davies, 2005), se observa el efecto contrario, aumentando el copete; así como en el estudio de la adición de harina chufa en la formulación de pasteles de harina de trigo (Chinma *et al.*, 2010), donde también se observó un incremento de la altura, atribuido a la baja densidad del

producto tras el horneado. Valores altos de viscosidad de la masa, producidos por la adición de la chufa, podrían ser los responsables de una alta retención de burbujas de gas, dando lugar a magdalenas con mayor altura.

En este estudio no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas, pero sí que es verdad que se ha producido un descenso de volumen de las muestras, presentando un menor volumen las muestras que más coproducto poseían, así como una textura más compacta, como se puede observar en la Figura 35:



Figura 35: Representación de las muestras de magdalenas con diferentes concentraciones de coproducto (amarilla: 0%; azul 5%; verde 10%; roja 15%)

Tanto el análisis realizado para determinar la pérdida de peso tras el horneado, como la determinación de altura de copete, se realizan únicamente en el día 0 de estudio. El resto de determinaciones posteriores se realizan durante el tiempo de estudio de las magdalenas, presentadas a continuación:

4.2.1.3. Densidad de las magdalenas

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la densidad de las magdalenas, tanto para la adición de coproducto de chufa como para la evolución en el tiempo, muestra que existen diferencias significativas para estos dos factores. También existen diferencias significativas al interaccionar estos dos factores. Los resultados se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la densidad de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | FACTOR | SUMA DE CUADRADOS | GRADO DE LIBERTAD | MEDIA CUADRÁTICA | F | SIG. |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------|------|
| Densidad | Tiempo | ,021 | 2 | ,011 | 21,433 | ,000 |
| | Coproducto | ,044 | 3 | ,015 | 29,560 | ,000 |
| | Tiempo*coproducto | ,016 | 6 | ,003 | 5,411 | ,001 |

Tras determinar que existen diferencias significativas para la variable densidad ($p < 0,05$), se lleva a cabo el test de Tukey (Tabla 10), donde se muestran las diferencias o similitudes entre las muestras

Tabla 10: Resultados del test Tukey para la densidad de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | TIEMPO(DIAS) | | | Concentración de coproducto (%) | | | |
|----------|--------------|---|---|---------------------------------|---|----|----|
| Densidad | 0 | 2 | 4 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| | b | c | a | A | B | B | C |

a-c; A-C: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios

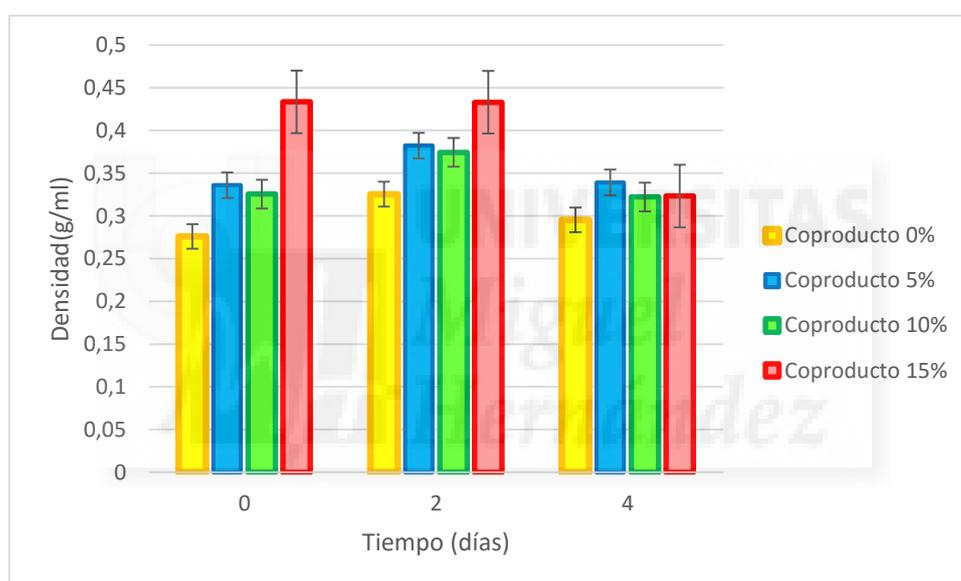


Figura 36: Valores de la densidad de las magdalenas con diferentes concentraciones de coproducto de chufa

Según los resultados obtenidos en el test ANOVA (Tabla 9), con su correspondiente representación gráfica (Figura 36), podemos observar que hay diferencias significativas de la densidad de las magdalenas en su paso por el tiempo. Como podemos ver, se produce un aumento significativo de la densidad de todas las muestras en el segundo día, produciéndose posteriormente un descenso de esta cuando se realiza la medición en el día 4.

En cuanto a la concentración de coproducto, como se observa en la Figura 36, se produce un aumento de densidad a medida que la concentración de fibra aumenta, presentando valores similares en las muestras con 5% y 10% de coproducto.

La fibra, en este caso el coproducto de chufa, como ya se ha citado anteriormente, posee capacidad de retención de agua, por lo que tiene sentido que las muestras que poseen mayor cantidad de coproducto tengan un valor de densidad más elevado. Además,

las masas –batidas con menor densidad suelen tener mayor cantidad de aire incorporado (Turabi *et al.*, 2008; Martínez-Cervera *et al.*, 2011) por lo que concuerda que las muestras con baja concentración de coproducto presenten, además de un bajo valor de densidad, una altura de copete menor que las muestras con alta concentración de este.

En el estudio de Garda *et al.*, (2012), se realiza una determinación de la densidad por el método de desplazamiento de semillas, obteniendo como resultado unos valores promedio de densidad mayor para el pan sin gluten con la adición de semillas de lino y chía que la muestra control de pan sin gluten sin adición de semillas.

También, en el estudio realizado por Goswami *et al.* (2015), donde se adiciona mijo a magdalenas, se obtienen unos resultados de densidad mayores a medida que se adiciona mijo a las muestras.

Sin embargo, en estudios realizados por Shearer y Davies (2005), donde se realiza una incorporación de lino a magdalenas, no presenta cambios significativos de la densidad en la evolución del tiempo, en un estudio realizado durante 5 días.

4.2.1.4. Pérdida de peso en la evolución en el tiempo

La pérdida de peso se define como el peso perdido de las muestras con respecto al paso del tiempo y con respecto a la concentración de coproducto que poseen. En la Tabla 11, podemos ver el análisis de varianza (ANOVA), donde se observa que existen diferencias significativas para el factor coproducto ($p < 0,05$), pero no existen diferencias significativas de pérdida de peso ($p > 0,05$). En cambio, la interacción de los factores tiempo y coproducto sí que presentan diferencias significativas de pérdida de peso ($p < 0,05$).

Tabla 11: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la pérdida de peso de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | FACTOR | SUMA DE CUADRADOS | GRADO DE LIBERTAD | MEDIA CUADRÁTICA | F | SIG. |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------|------|
| Pérdida de peso | Tiempo | ,420 | 2 | ,210 | 2,068 | ,148 |
| | Coproducto | 7,699 | 3 | 2,566 | 25,263 | ,000 |
| | Tiempo*coproducto | 2,577 | 6 | ,430 | 4,229 | ,005 |

A continuación, en la Tabla 12, se muestran los resultados del test de Tukey para la pérdida de peso producida a lo largo del tiempo de estudio.

Tabla 12: Resultados del test Tukey para la pérdida de peso de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | TIEMPO (DIAS) | | | Concentración de coproducto (%) | | | |
|----------|-----------------|---|---|---------------------------------|---|---|----|
| | Pérdida de peso | 0 | 2 | 4 | 0 | 5 | 10 |
| a | | a | a | A | B | C | C |

a; A - C: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios

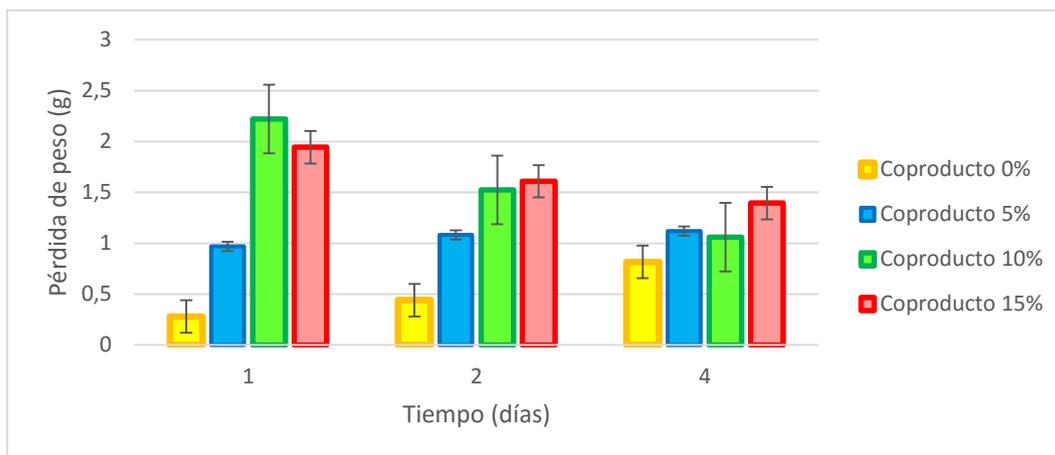


Figura 37: Valores de la pérdida de peso tras el almacenamiento de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

Como se muestra en la Figura 37, existen diferencias de pérdida de peso según la concentración de coproducto de chufa que poseen las muestras. Así, obtenemos una pérdida de peso mayor en las muestras con mayor cantidad de coproducto (10 -15%) y una pérdida menor para las muestras con un 0 y 5% de coproducto.

En cuanto a la evolución en el tiempo, como podemos observar, se produce una pérdida de peso cada vez menor, según el transcurso de los días, para las muestras de 10 y 15% de coproducto. En cambio, para las muestras 0% y 5%, se produce un aumento de la pérdida de peso en su paso por el tiempo.

La explicación a estos resultados puede deberse a la relación entre la capacidad de retención de agua y la concentración de coproducto de chufa añadida. Para las muestras con bajo porcentaje de coproducto de chufa (0 y 5%), se produce una pérdida de peso cada vez mayor en su paso por el tiempo, ya que estas muestras tienen mayor cantidad de agua libre en su interior. En cambio, las muestras con un 10 y 15% de coproducto de chufa presentan unos valores de pérdida de peso mayores en el día 1, pudiéndose deber a la evaporación del agua que no está ligada. En cambio, a medida que pasa el tiempo, estas muestras con mayor concentración de coproducto, van presentando unos valores de pérdida de peso menores, debido a que cada vez es más la cantidad de agua que se presenta fuertemente ligada.

4.2.1.5. Diámetro de las magdalenas

El análisis de varianza (ANOVA), presenta unos resultados donde se encuentran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en el diámetro para los factores tiempo y concentración de coproducto. En cambio, no existen diferencias significativas al interaccionar ambos factores. Dichos resultados se muestran en la Tabla 13:

Tabla 13: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el diámetro de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | FACTOR | SUMA DE CUADRADOS | GRADO DE LIBERTAD | MEDIA CUADRÁTICA | F | SIG. |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------|------|
| Diámetro | Tiempo | 19,252 | 2 | 9,626 | 7,303 | ,003 |
| | Coproducto | 47,535 | 3 | 15,845 | 12,021 | ,000 |
| | Tiempo*coproducto | 3,891 | 6 | ,649 | ,492 | ,808 |

A continuación, en la Tabla 14, se muestran los resultados del test de Tukey, donde se muestran las diferencias/similitudes entre las diferentes muestras en el paso del tiempo y según la concentración de coproducto de chufa.

Tabla 14: Resultados del test Tukey para el diámetro de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | TIEMPO(DIAS) | | | Concentración de coproducto (%) | | | |
|----------|--------------|---|---|---------------------------------|-------|-------|----|
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| Diámetro | b | b | a | C | B – C | A – B | A |

a-b; A-C: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios

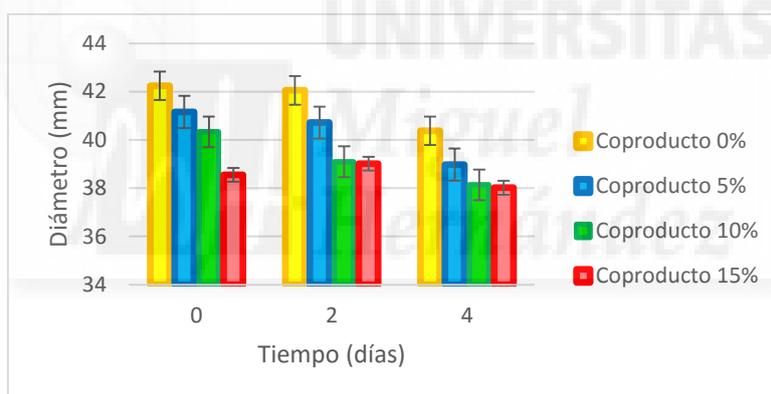


Figura 38: Valores del diámetro de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

Como podemos observar en la Figura 38, no existen diferencias significativas para el diámetro en los días 0 y 2. Sin embargo, existen diferencias de este parámetro para el día 4, por lo que se concluye que se va produciendo una progresión muy lentamente donde en periodos cortos no es significativo el cambio de diámetro pero, a medida que va teniendo lugar una sucesión temporal, sí que este valor es significativo, produciendo cada vez un descenso del diámetro en todas las muestras.

En cuanto a la concentración de coproducto, existe una progresión, siendo todas las muestras con valores similares, pero a la vez claramente presentando unos valores diferentes, obteniendo un menor diámetro a medida que aumentamos la concentración de coproducto de chufa.

Como se ha citado anteriormente, la CRA del coproducto añadido produce unas muestras más compactas con respecto a la muestra control lo que, como consecuencia, produce unas muestras con unos valores de diámetro menores que las muestras que no tienen coproducto, presentándose estas muestras (las muestras sin coproducto añadido) con una menor compactidad.

Por otro lado, la disminución del diámetro en la evolución del tiempo se relaciona con la pérdida de peso producida, ya que a medida que se ha ido perdiendo peso (se ha ido evaporando el agua libre) se ha producido un descenso del diámetro, presentando una menor disminución del diámetro en las muestras con mayor cantidad de coproducto (a que estas presentan menor cantidad de agua libre, por ello obtenemos diferencias menos notables en el paso por el tiempo).

4.2.1.6. Color de las magdalenas

4.2.1.6.1. Color externo

Se realizaron mediciones del color externo, o color de la corteza, para determinar de qué manera influye la adición de coproducto al color del producto final. El análisis de varianza (ANOVA), presentado en la Tabla 15, indica que existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para todos los parámetros de color analizados, a excepción de la luminosidad teniendo en cuenta la interacción del tiempo y el coproducto.

Tabla 15: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el color externo de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Factor | Factor variable | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrática | F | Sig. |
|---------------|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------|------|
| Color externo | tiempo | L* | 62,869 | 2 | 31,434 | 5,111 | ,007 |
| | | a* | 108,242 | 2 | 54,121 | 13,721 | ,000 |
| | | b* | 234,256 | 2 | 117,128 | 24,148 | ,000 |
| | | C* _{ab} | 321,068 | 2 | 160,534 | 22,1998 | ,000 |
| | | h _{ab} | 56,915 | 2 | 28,458 | 8,112 | ,000 |
| | Concentración de Coproducto | L* | 73,023 | 3 | 24,341 | 3,958 | ,009 |
| | | a* | 130,989 | 3 | 43,663 | 11,070 | ,000 |
| | | b* | 226,032 | 3 | 75,344 | 15,534 | ,000 |
| | | C* _{ab} | 324,648 | 3 | 108,216 | 14,964 | ,000 |
| | | h _{ab} | 78,141 | 3 | 26,047 | 7,425 | ,000 |
| | Tiempo * Coproducto | L* | 66,412 | 6 | 11,069 | 1,800 | ,102 |
| | | a* | 113,535 | 6 | 18,923 | 4,797 | ,000 |
| | | b* | 221,648 | 6 | 36,941 | 7,616 | ,000 |
| | | C* _{ab} | 307,365 | 6 | 51,227 | 7,084 | ,000 |
| | | h _{ab} | 68,992 | 6 | 11,499 | 3,278 | ,005 |

Tras determinar que existen diferencias significativas para la variable densidad ($p < 0,05$), se lleva a cabo el test de Tukey (Tabla 16), donde se muestran las diferencias o similitudes entre las muestras.

Tabla 16: Resultados del test Tukey para el color externo de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Tiempo (días) | | | Concentración de Coproducto (%) | | | |
|------------------|---------------|---|---|---------------------------------|-----|----|-----|
| | 1 | 2 | 4 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| L* | a-b | b | a | A -B | A | B | A |
| a* | b | a | b | C | B-C | A | B-A |
| b* | b | a | b | B | B | A | A |
| C* _{ab} | b | a | b | B | B | A | A |
| h _{ab} | b | a | b | B | B | A | A-B |

a-b; A-C: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios.

Los resultados del test de Tukey (Tabla 16), indican que los valores de luminosidad exterior de las magdalenas elaboradas con coproducto de chufa presentan similitudes en los resultados, ya que presenta unos valores similares para concentraciones 0, 5 y 15%, así como similitudes con concentraciones 0 y 10%.

En cuanto al paso por el tiempo, las muestras presentan una luminosidad que difiere entre el día 2 y 4, pero no difiere entre el día 1 y 4 ni entre el día 1 y 2.

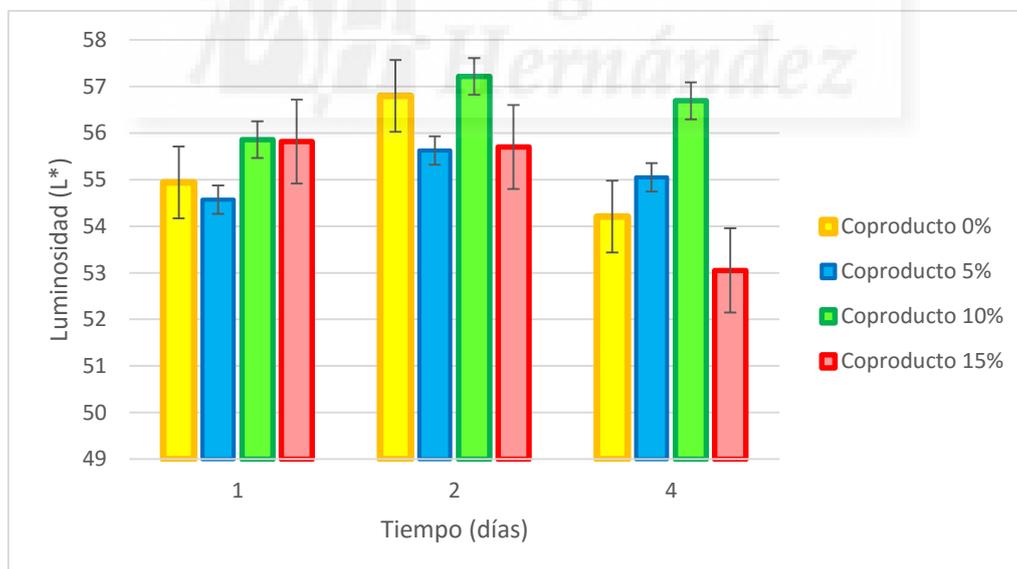


Figura 39: Valores de la coordenada de color Luminosidad (L*) externa de las magdalenas con coproducto de chufa

En la Figura 39, podemos concluir que, en cuanto al parámetro concentración de coproducto, se produce un aumento de la luminosidad a medida que se añade más coproducto a las muestras.

Por otro lado, la evolución en el tiempo muestra un aumento de luminosidad para todas las muestras en el segundo día, pero un descenso de este en el cuarto día.

López Salinas (2012), en su estudio de incorporación de coproducto de chufa a magdalenas, observó un aumento de la luminosidad a medida que la concentración de coproducto añadida era mayor.

En el artículo de Shearer y Davies (2005), sobre las propiedades físico-químicas de magdalenas elaboradas con y sin harina de linaza, se observó que la coordenada Luminosidad disminuía a medida que aumentaba el contenido en harina de linaza, por lo que resultaron unas magdalenas más oscuras que el control. En este estudio también se realizaron análisis de este parámetro durante 5 días presentando que no existían diferencias estadísticamente significativas en el paso del tiempo.

En la publicación realizada por Machado *et al.*, (2015), donde se realiza un estudio sobre la adición de quinoa, amaranto y edulcorantes a panes sin gluten, se obtiene que la muestra control no presenta diferencias estadísticamente significativas. Aun así, la muestra control presenta unos valores más elevados de luminosidad con respecto a las muestras a las que se les ha adicionado quinoa y amaranto.

En el estudio de Martínez *et al.*, (2014), se realiza un estudio del efecto de la adición de diferentes fibras en panes libres de gluten, obteniéndose como resultados un aumento de luminosidad en la corteza al añadir fibra de patata, guisante, bamboo grueso, y avena. En cambio, se produce un descenso de luminosidad al añadir bamboo fino.

Para el valor de la coordenada a^* (rojo – verde), los resultados del test de Tukey (Tabla 16), indican que las muestras presentan similitudes únicamente para los días 1 y 2. En cuanto a la concentración de coproducto, se producen similitudes entre las muestras con un 10 y 15% de coproducto, 5 y 15%, y por último similitudes entre las concentraciones 0 y 5%.

Tal y como indica la Figura 40, se produce un descenso progresivo de este parámetro a medida que se añade mayor cantidad de coproducto de chufa. La evolución temporal presenta unos resultados donde inicialmente la muestra control desciende, aumentando su coordenada en el día 4, al igual que ha ocurrido con la muestra que posee un 10% de coproducto. Las muestras con un 5% y un 15% de coproducto se han mantenido a lo largo del estudio con valores similares, con un ligero ascenso en el día 4.

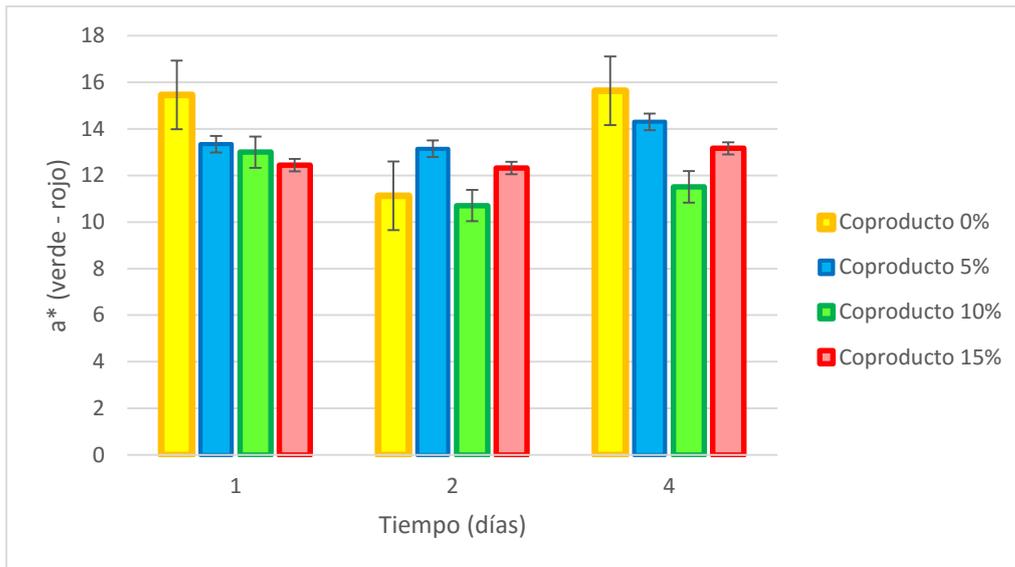


Figura 40: Valores de la coordenada de color rojo –verde (a^*) externa de las magdalenas con coproducto de chufa

Estudio llevado a cabo por Sudha *et al.*, (2015), donde se utiliza el residuo de fibra del mango como ingrediente para magdalenas, se obtienen valores de la coordenada a^* mayores tras la adición de residuo de mango, con respecto a la muestra control.

La investigación llevada a cabo por Sabanis *et al.*, (2009), donde se adicionan diferentes tipos de fibras a panes sin gluten determina que la adición de fibra de trigo sarraceno y avena, se produce un descenso de este parámetro. En cambio la adición de fibra de maíz y de cebada produce un aumento de la coordenada.

Estudios realizados por Eglantina y Culetu (2015), donde se incorpora salvado de avena a galletas sin gluten y el estudio de Goswami *et al.*, (2015), donde se adiciona mijo a magdalenas, muestran que se produce un aumento de la coordenada a^* a medida que va aumentando la concentración de salvado de avena y mijo añadido.

La predominación de la coordenada roja a medida que la concentración de coproducto va aumentando puede deberse a la coloración más oscura que presenta el coproducto de chufa, lo que produce unos valores totales más rojizos que la muestra control.

Para el valor de la coordenada b^* (amarillo - azul), los resultados del test de Tukey (Tabla 16), indican que las muestras presentan similitudes para las concentraciones 0 y 5% y para las concentraciones 10 y 15%. En cuanto a la evolución en el tiempo, se producen similitudes entre el día 1 y 4.

Tal como se puede ver en la Figura 41, la coordenada b^* presenta unos valores más altos para la muestra sin coproducto de chufa, produciéndose un descenso progresivo a medida que la concentración de coproducto va aumentando en las muestras. En cuanto a la evolución en el tiempo, como se muestra en la Figura 41, se produce primero un descenso de esta coordenada en las muestras 0% y 5%, produciéndose finalmente un aumento en el día 4. Las muestras 10% y 15% presentan valores más o menos similares durante el estudio.

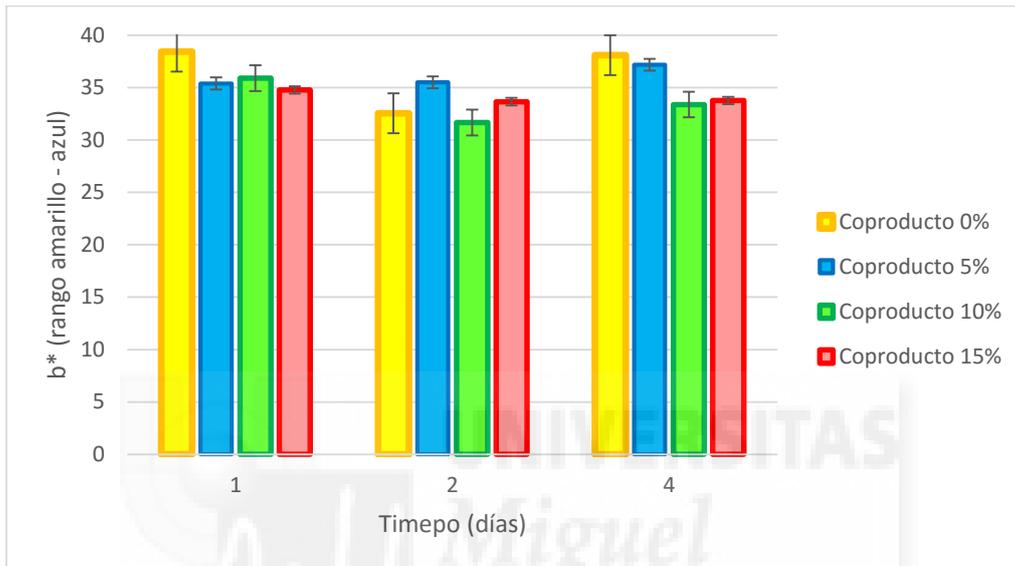


Figura 41: Valores de la coordenada de color amarillo – azul (b^*) externa de las magdalenas con coproducto de chufa

El estudio realizado por López Salinas (2012), donde se estudia la adición de coproductos de naranja y de chufa a magdalenas, obtiene un aumento de la coordenada a medida que aumenta la concentración de coproducto en las muestras.

En cambio, el estudio llevado a cabo por Shearer y Davies (2005), sobre las propiedades físico – químicas de magdalenas elaboradas con y sin harina de linaza, se observó que esta coordenada disminuía a medida que aumentaba el contenido de linaza, como en este caso.

Goswami *et al.* (2015), estudia la incorporación de mijo a magdalenas, obteniendo también como resultados un descenso de la coordenada b^* a medida que aumenta la concentración de mijo en magdalenas.

Para el valor de la magnitud psicofísica croma (C^*), los resultados del test de Tukey (Tabla 16), indican que las muestras presentan similitudes para las concentraciones 0 y 5% y para las concentraciones 10 y 15%. En cuanto a la evolución en el tiempo, se producen similitudes entre el día 1 y 4. Resultados idénticos se presentan para la coordenada b^* , y muy similares para la coordenada a^* en el transcurso del tiempo. Con estos resultados obtenidos podemos afirmar que a^* , b^* y C^* están relacionadas, por lo que la evolución de la magnitud Croma dependerá de la evolución de la coordenada b^* (rango azul –amarillo) y de la coordenada a^* (rojo –verde).

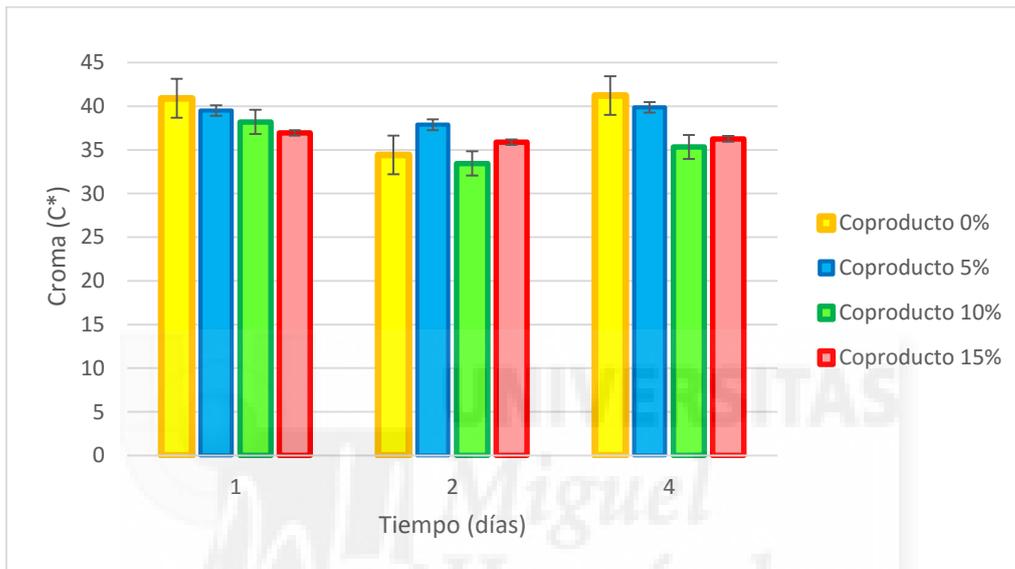


Figura 42: Valores de la magnitud psicofísica Croma (C^*_{ab}) externo de las magdalenas con coproducto de chufa

La magnitud psicofísica Croma (C^*) presenta un descenso a medida que aumenta la concentración de coproducto en la muestra, al igual que ha ocurrido con la coordenada b^* y a^* . En cuanto a la evolución en el tiempo, al igual que con la coordenada b^* , se produce primero un descenso de la magnitud para las muestras 0% y 5%, y finalmente este valor aumenta. Las muestras 10% y 15% muestran un ligero descenso en el día 2, presentando finalmente valores más elevados.

Para el valor de la magnitud psicofísica tono (h^*), los resultados del test de Tukey (Tabla 16), indican que las muestras con concentraciones 0%, 5% y 15% presentan similitudes, al igual que las muestras 10% y 15%. En cuanto a la evolución en el tiempo, se producen similitudes entre el día 1 y 4.

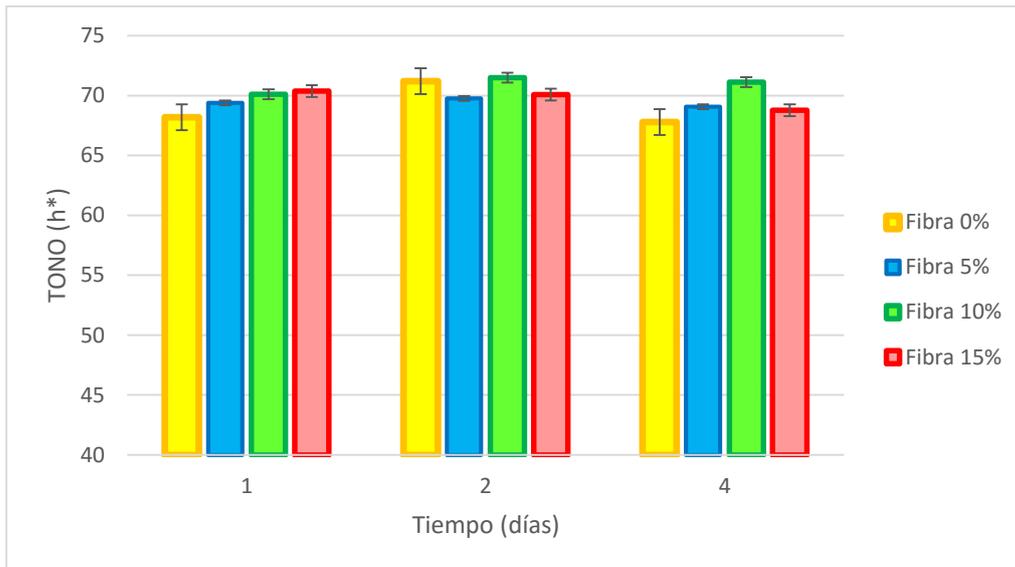


Figura 43: Valores de la magnitud psicofísica Tono (h^*_{ab}) externo de las magdalenas con coproducto de chufa

Como se puede observar en la Figura 43, las muestras con incorporación de coproducto de chufa presentan valores más elevados de tono. En cuanto a la evolución en el tiempo, se puede observar ascensos en el día 2 para las muestras 0%, 5% y 10%. En cambio, para el día 4 se produce una disminución de esta magnitud para todas las muestras, exceptuando la muestra 10%, la cual se mantiene en el valor de 71,3.

Estudios realizados por López Salinas (2012), donde se añaden coproductos de chufa y naranja a magdalenas, se obtienen también resultados similares para la magnitud tono, presentando un aumento de esta a medida que se añade coproducto de chufa.

4.2.1.6.2. Color interno magdalenas

Se realizaron mediciones del color interno de las magdalenas, para determinar de qué manera influye la adición de coproducto al color del producto final. El análisis de varianza (ANOVA), presentado en la Tabla 17, indica que existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para todos los parámetros de color analizados al producir una adición de coproducto de chufa. En cambio, el paso del tiempo no presenta diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) en ningún parámetro, a excepción de la luminosidad. La interacción del tiempo y la concentración de coproducto sí que han producido unas diferencias estadísticamente significativas para todos los parámetros de color.

Tabla 17: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el color interno de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Factor | Factor variable | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrática | F | Sig. |
|---------------|-----------------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|---------|------|
| Color interno | tiempo | L* | 607,108 | 2 | 303,554 | 61,592 | ,000 |
| | | a* | ,113 | 2 | ,056 | ,275 | ,760 |
| | | b* | 1,522 | 2 | ,761 | 1,322 | ,270 |
| | | C* _{ab} | 1,331 | 2 | ,665 | ,997 | ,371 |
| | | h _{ab} | 1,818 | 2 | ,909 | 1,158 | ,317 |
| | Concentración de Coproducto | L* | 653,206 | 3 | 217,735 | 44,179 | ,000 |
| | | a* | 14,797 | 3 | 4,932 | 24,020 | ,000 |
| | | b* | 289,083 | 3 | 96,361 | 167,481 | ,000 |
| | | C* _{ab} | 284,846 | 3 | 94,949 | 142,274 | ,000 |
| | | h _{ab} | 140,673 | 3 | 46,891 | 59,741 | ,000 |
| | Tiempo * Coproducto | L* | 82,726 | 6 | 13,788 | 2,798 | ,013 |
| | | a* | 2,721 | 6 | ,453 | 2,208 | ,045 |
| | | b* | 17,749 | 6 | 2,958 | 5,141 | ,000 |
| | | C* _{ab} | 18,658 | 6 | 3,110 | 4,660 | ,000 |
| | | h _{ab} | 12,596 | 6 | 2,099 | 2,675 | ,017 |

Tras determinar que existen diferencias significativas para la variable densidad ($p < 0,05$), se lleva a cabo el test de Tukey (Tabla 18), donde se muestran las diferencias o similitudes entre las muestras.

Tabla 18: Resultados del test Tukey para el color interno de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Tiempo (días) | | | Concentración de Coproducto (%) | | | |
|------------------|---------------|---|---|---------------------------------|---|----|----|
| | 1 | 2 | 4 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| L* | b | a | a | B | A | A | A |
| a* | a | a | a | A | C | A | B |
| b* | a | a | a | A | B | B | C |
| C* _{ab} | a | a | a | A | C | B | D |
| h _{ab} | a | a | a | A | A | B | B |

a-b; A-C: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios

El test de Tukey, representado en la Tabla 18, indica que el valor de luminosidad (L*) presenta diferencias en el día 1 con respecto al resto de días. El resto de variables presentan similitudes en todos los casos con el paso del tiempo.

En cuanto a la concentración de coproducto añadido, existen diferencias significativas para la variable luminosidad (L^*) al realizar una adición de distintas concentraciones de coproducto (5%,10% y 15%), con respecto al control (0%), presentando un valor más bajo frente al control y similitudes entre ellas (muestras 5%,10% y 15%)

Para la variable a^* , con respecto a la concentración de coproducto añadida, únicamente se muestran similitudes entre las muestras con un 0% y con un 10% de coproducto añadido.

La variable b^* , con respecto a la concentración de coproducto añadida, únicamente presenta similitudes en las muestras con un 5% y 10% de coproducto añadido.

La magnitud psicofísica Cromo (C^*), presenta unos valores donde difieren todos los resultados con la adición de diferentes concentraciones de coproducto de chufa.

Por último, la magnitud psicofísica Tono (h^*), presenta unas similitudes dispuestas a pares, donde una concentración de 0% y 5% de coproducto presentan valores similares, al igual que presentan similitudes de tono las concentraciones 10% y 15%.

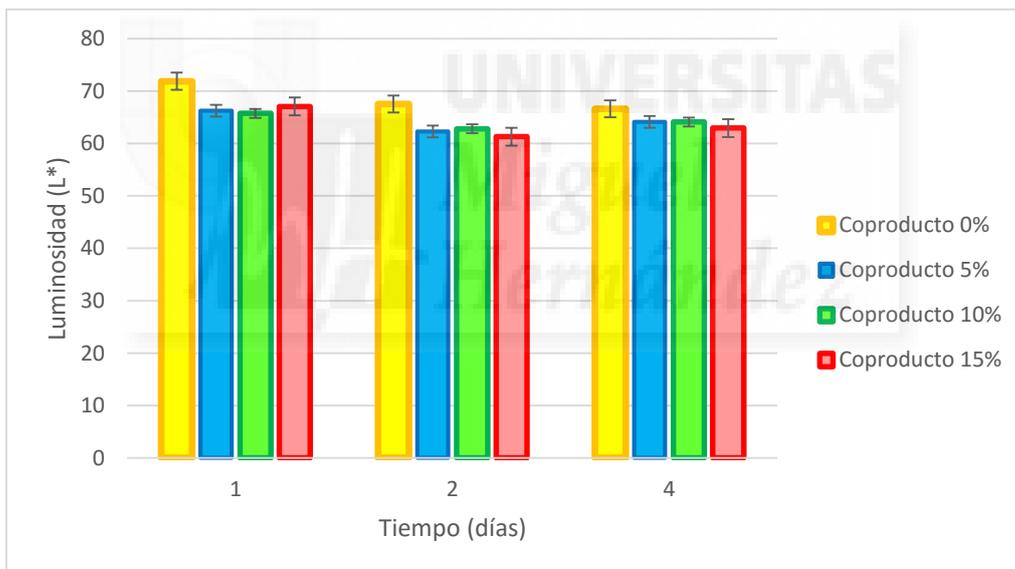


Figura 44: Valores de la coordenada de color Luminosidad interna (L^*) de las magdalenas con coproducto de chufa

En la Figura 44, podemos observar que, en cuanto al parámetro concentración de coproducto, se produce un descenso de la luminosidad a medida que las muestras presentan mayor cantidad de coproducto de chufa.

Por otro lado, la evolución en el tiempo muestra unos valores similares, donde se produce un leve descenso de este parámetro a medida que pasan los días de estudio, presentando un descenso mayor para las muestras sin adición de coproducto (muestra control 0%).

Estudios realizados por Ziobro *et al.*, (2013), donde se realiza un estudio sobre la adición de proteínas a panes sin gluten, determinan que la adición de proteína de guisante obtiene unos valores de luminosidad menores que la muestra control, al igual que la adición de colágeno y soja. En cambio, la adición de albumina produce una luminosidad mayor que la muestra control.

López Salinas (2012), en su incorporación de coproducto de chufa y naranja a magdalenas, obtiene como resultados un descenso de la luminosidad a medida que se añade coproducto de chufa a las muestras. La incorporación de coproducto de naranja también desencadena esta reacción.

En el estudio de Sudha *et al.*, (2015), donde se adicionan coproductos de mango a magdalenas elaborados con trigo, se obtiene que tanto la adición de coproducto de mango con una humedad considerable, como la adición de dichos coproductos secos, produce un descenso destacado de la luminosidad con respecto a la muestra control (0% de mango). Este descenso es progresivo a medida que se va añadiendo mayor cantidad de coproducto de mango.

Por su parte, Machado *et al.*, (2015), donde se realiza una adición de quinoa, amaranto y edulcorantes a panes libres de gluten, obtiene un descenso de luminosidad en todos los casos, con respecto a la muestra control. El descenso más destacable se produce al adicionar quinoa y sucralosa a las muestras.

Por último, el estudio llevado a cabo por Shearer y Davies (2005), sobre las propiedades físico – químicas de magdalenas elaboradas con y sin harina de linaza, se observó que esta coordenada disminuía a medida que aumentaba el contenido de lino, produciéndose un descenso muy leve, como ha ocurrido en este estudio. En cuanto al cambio de esta variable con el paso del tiempo, no se mostraron diferencias significativas con el paso del tiempo.

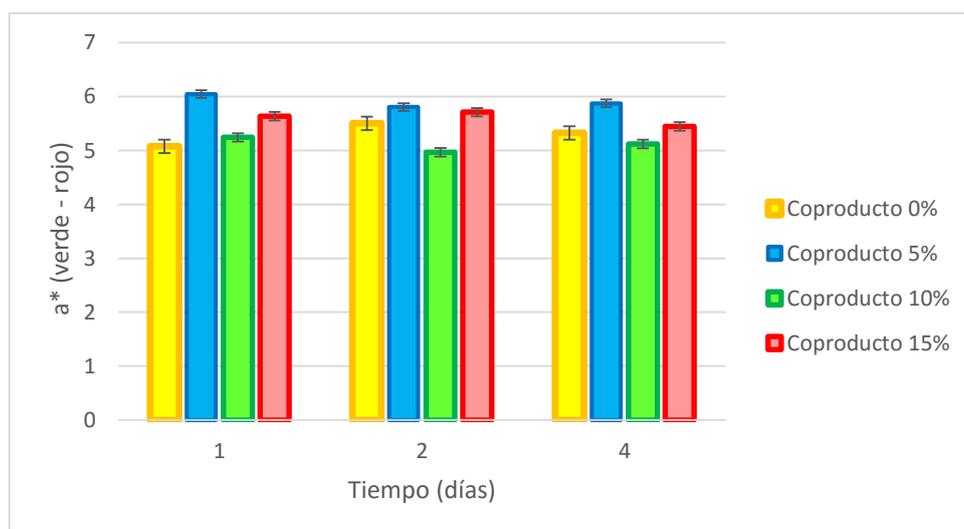


Figura 45: Valores de la coordenada de color rojo –verde interno (a^*) de las magdalenas con coproducto de chufa

Para el valor de la coordenada a^* (rojo – verde), los resultados del test de Tukey (Tabla 18), indican que las muestras presentan similitudes en el paso del tiempo. En cuanto a la concentración de coproducto, se producen similitudes únicamente entre las muestras con un 0 y 10% de coproducto.

Como se puede observar en la Figura 45, se produce un aumento de esta coordenada al añadir coproducto de chufa, con aumentos más notables al añadir un 5% de coproducto.

En cuanto a la evolución temporal, los valores se mantienen prácticamente iguales presentando un ligero ascenso en el caso de la muestra control, pero no significativo estadísticamente.

López Salinas (2012), en su incorporación de coproducto de chufa y naranja a magdalenas, obtiene un aumento de la coordenada a^* , a medida que la concentración de coproducto de chufa va aumentando en la formulación.

En cuanto al estudio de Machado *et al.*, (2015), donde se realiza una adición de quinoa, amaranto y edulcorantes a panes libres de gluten, obtiene un aumento de esta coordenada al adicionar amaranto a las muestras con diferentes edulcorantes. Al igual ocurre al adicionar quinoa a estas formulaciones.

Por su parte, Sudha *et al.*, (2015), en su estudio donde se adicionan coproducto de mango y coproducto de mango secos a magdalenas elaborados con trigo, también obtiene como resultados un aumento de esta coordenada, presentando valores superiores para el coproducto de mango seco.

Para finalizar, el estudio llevado a cabo por Shearer y Davies (2005), sobre las propiedades físico – químicas de magdalenas elaboradas con y sin harina de lino, se observó que esta coordenada disminuía a medida que aumentaba el contenido de lino, produciéndose un descenso muy leve, al igual que ha ocurrido con la luminosidad de dicho estudio. En cuanto al cambio de esta variable con el paso del tiempo, no se mostraron diferencias significativas con el paso del tiempo.

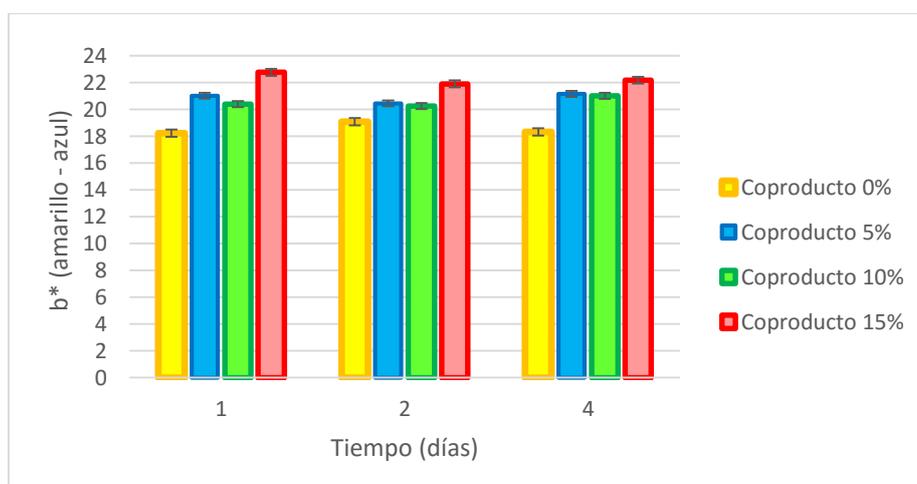


Figura 46: Valores de la coordenada de color amarillo – azul interno (b^*) de las magdalenas con coproducto de chufa

Para el valor de la coordenada b^* (amarillo -azul), los resultados del test de Tukey (Tabla 18), indican que las muestras presentan similitudes en el paso del tiempo. En cuanto a la concentración de coproducto, se producen similitudes únicamente entre las muestras con un 5 y 10% de coproducto.

Como se puede observar en la Figura 46, se produce un ascenso de la coordenada b^* a medida que se incorpora mayor cantidad de coproducto de chufa, presentando una subida más notable cuando se incorpora un 15% de coproducto de chufa.

En cuanto a la evolución en el tiempo, se muestran valores similares a lo largo del tiempo de estudio, pudiendo destacar en la muestra con 0% de coproducto primero un ascenso de esta coordenada y posteriormente presentando un descenso. En cuanto a las muestras con coproducto en concentraciones 5%, 10% y 15%, se produce primero un ligero descenso de la coordenada b^* y posteriormente un ascenso de la misma al llegar al último día de estudio.

Sudha *et al.*, (2015), en su estudio donde adiciona coproductos de mango natural y coproductos de mango seco a magdalenas elaborados con trigo, también obtiene como resultados un aumento de esta coordenada, presentando valores superiores cuando se adiciona coproducto de mango seco.

Machado *et al.*, (2015), realiza una adición de quinoa, amaranto y edulcorantes a panes libres de gluten, obteniendo como resultados un aumento de esta coordenada al adicionar quinoa y amaranto, teniendo valores máximos al adicionar también sucralosa y acesulfamo-K.

Estudios realizados por Ziobro *et al.*, (2013), donde se realiza un estudio sobre la adición de proteínas a panes sin gluten, determinan que la adición de proteína de guisante, colágeno y soja presenta unos valores más altos para la coordenada b^* de la miga de la magdalena, con respecto al control.

Contrario a lo ocurrido en este estudio encontramos el estudio realizado por Shearer y Davies (2005), sobre las propiedades físico – químicas de magdalenas elaboradas con y sin harina de lino, donde se observó que esta coordenada disminuía a medida que aumentaba el contenido de lino. En cuanto al cambio de esta variable con el paso del tiempo, no se mostraron diferencias significativas con el paso del tiempo. En el estudio de Eglantina y Culetu (2015) donde se añade salvado de avena a galletas sin fibra, también ocurre esta disminución de la coordenada b^* a medida que se adiciona mayor cantidad de salvado de avena a las muestras.

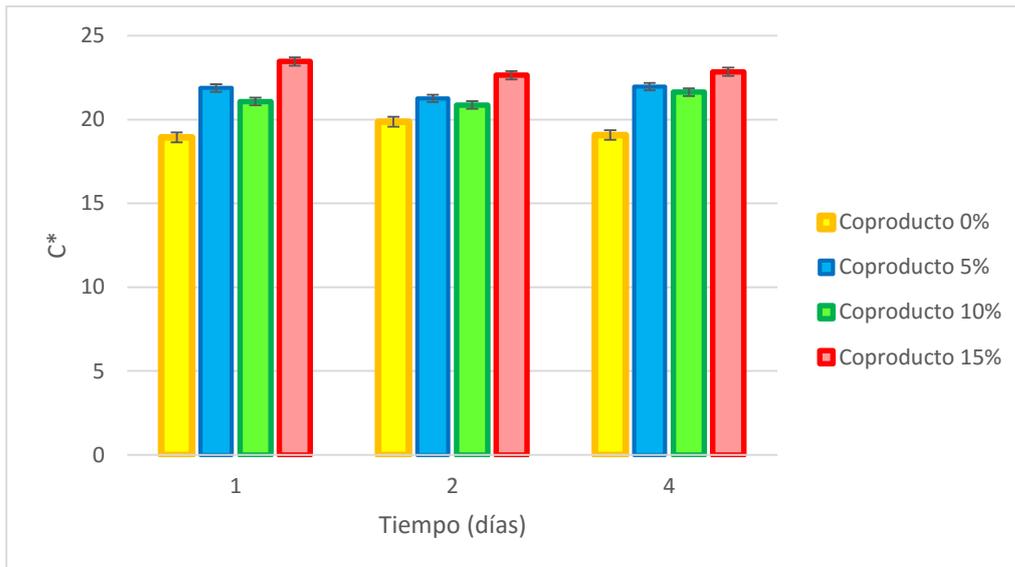


Figura 47: Valores de la magnitud psicofísica Cromo interno (C^*_{ab}) de las magdalenas con coproducto de chufa

Para la magnitud psicofísica Cromo (C^*), los resultados del test de Tukey (Tabla 18) indican que las muestras presentan similitudes en el paso del tiempo. En cuanto a la concentración de coproducto, se obtienen unos valores donde no se encuentran similitudes entre las muestras.

Como se puede observar en la Figura 47, se produce un ascenso de la magnitud psicofísica Cromo (C^*) a medida que se incorpora mayor cantidad de coproducto de chufa, presentando una subida más notable cuando se incorpora un 15% de coproducto.

En cuanto a la evolución en el tiempo, se muestran valores similares a lo largo del tiempo de estudio, por lo que, aunque en el análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 17) se han presentado diferencias significativas estadísticamente ($p < 0,05$), se trata de ligeras oscilaciones, permaneciendo los valores prácticamente constantes a lo largo de todo el estudio.

Se puede ver cómo la magnitud psicofísica Cromo (C^*) sigue un comportamiento similar a la coordenada b^* , por lo que podríamos decir que esta magnitud es dependiente de dicha coordenada.

Basinello *et al.*, (2011), en su estudio sobre incorporación de frijol negro pelado y en grano a galletas sin gluten elaboradas con harina de arroz, obtiene unos resultados de un aumento de cromos a medida que se adiciona mayor cantidad de frijol negro pelado y frijol negro en grano. Dicho aumento es progresivo a medida que se va añadiendo mayor cantidad de frijol.

En cambio, en el estudio realizado Eglantina y Culetu (2015), donde se adiciona salvado de avena a galletas sin gluten, se obtienen unos valores más bajos de esta magnitud psicofísica (C^*) a medida que se va adicionando mayor cantidad de salvado de avena. La coordenada b^* para dicho estudio experimentó también resultados descendientes a medida que se va añadiendo fibra de salvado. Como ya se ha dicho anteriormente, la magnitud psicofísica croma (C^*) es dependiente de b^* , por lo que se explica la relación entre ambos resultados. Estos resultados también se producen en el estudio realizado por Goswami *et al.* (2015), donde se adiciona mijo a magdalenas, produciéndose un descenso de la coordenada b^* y del croma (C^*) a medida que aumenta la cantidad de mijo añadida en las muestras.

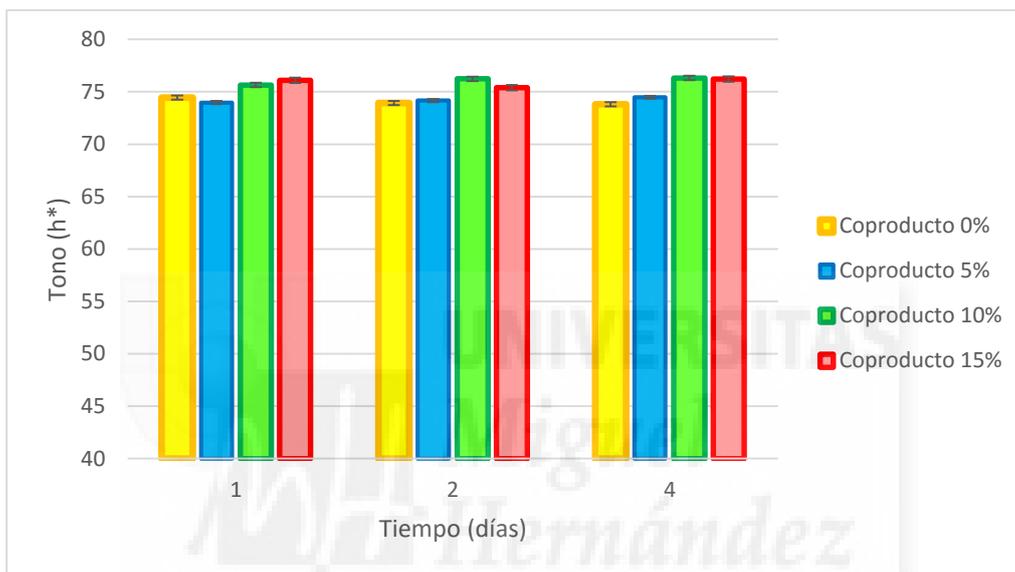


Figura 48: Valores de la magnitud psicofísica Tono interno (h^*_{ab}) de las magdalenas con coproducto de chufa

Para la magnitud psicofísica tono (h^*) los resultados del test de Tukey (Tabla 18), indican que las muestras presentan similitudes en el paso del tiempo, presentando leves oscilaciones en los resultados. En cuanto a la concentración de coproducto, se obtienen unos valores donde se encuentran similitudes dispuestas a pares, donde 0% y 5% tienen valores similares, ocurriendo lo mismo para 10% y 15%.

Como se puede observar en la Figura 48, se produce un ascenso de la magnitud psicofísica tono (h^*) a medida que se incorpora mayor cantidad de coproducto de chufa, presentando una subida más notable cuando se incorpora un 10 y 15% de coproducto.

En cuanto a la evolución en el tiempo, se muestran valores similares a lo largo del tiempo de estudio, por lo que, aunque en el análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 17) se han presentado diferencias significativas estadísticamente ($p < 0,05$), se trata de ligeras oscilaciones, permaneciendo los valores prácticamente constantes a lo largo de todo el estudio.

Contrario a este estudio, en el estudio de Basinello *et al.*, (2011), donde se determina el color, entre otros parámetros, a galletas sin gluten con adición de frijol negro entero y pelado, se obtiene un descenso del tono a medida que aumenta la concentración de frijol negro entero y pelado. Lo mismo ha ocurrido el estudio de Goswami *et al.*, (2015), donde se adiciona diferentes concentraciones de mijo a magdalenas, obteniendo como resultados un descenso de este parámetro a medida que se aumenta la concentración de mijo.

4.2.1.7. Determinación de la textura

La textura una medida que puede darnos diferente información sobre el producto. En este estudio se han realizado mediciones de la firmeza y esponjosidad de las muestras. Los resultados del análisis de varianza (ANOVA) parecen en la Tabla 19.

Tabla 19: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para los parámetros del análisis de textura de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Factor | Factor variable | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrática | F | Sig. |
|----------|---------------------|-----------------|-------------------|--------------------|------------------|--------|------|
| Textura | Tiempo | Firmeza | 76368,843 | 2 | 38184,421 | 77,091 | ,000 |
| | | Esponjosidad | 74,932 | 2 | 37,466 | 35,605 | ,000 |
| | Coproducto | Firmeza | 125314,385 | 3 | 41771,462 | 84,333 | ,000 |
| | | Esponjosidad | 44,226 | 3 | 14,742 | 14,010 | ,000 |
| | Tiempo * Coproducto | Firmeza | 15090,162 | 6 | 2515,027 | 5,078 | ,000 |
| | | Esponjosidad | 15,604 | 6 | 2,601 | 2,472 | ,032 |

Los resultados de la Tabla 19 indican que existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para todos los parámetros de textura medidos (firmeza y esponjosidad), tanto en el factor tiempo como en la concentración de coproducto añadida, así como la interacción de ambos factores en el caso de la firmeza.

Los resultados del test de Tukey para cada parámetro estudiado se representan en la Tabla 20.

Tabla 20: Resultados del test Tukey para los parámetros del análisis de textura de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Tiempo (días) | | | Concentración de Coproducto (%) | | | |
|--------------|---------------|---|---|---------------------------------|---|----|----|
| | 1 | 2 | 4 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| Firmeza | a | b | c | A | B | B | C |
| Esponjosidad | a | b | c | B | B | B | A |

a-c; A-B: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios

4.2.1.7.1. Firmeza o dureza

La dureza o firmeza está relacionada con la fuerza aplicada que causa ruptura o deformación de las muestras, y se correlaciona con la mordedura humana (Esteller *et al.*, 2004).

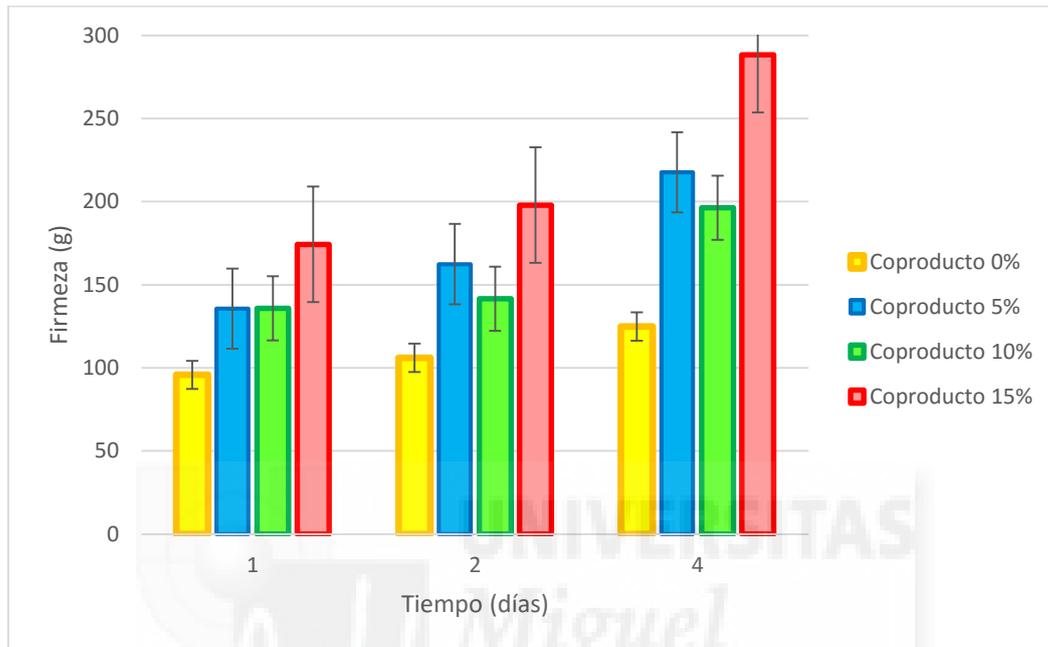


Figura 49: Firmeza de las magdalenas elaboradas con distintas concentraciones de coproducto de chufa

Los resultados del test de Tukey (Tabla 20), indican que existen diferencias significativas en la firmeza, presentando unos valores diferentes en la evolución del tiempo. Así, como podemos ver en la Figura 49, obtenemos unos valores de firmeza cada vez más elevados a medida que evoluciona el tiempo.

En cuanto a la concentración de coproducto de chufa añadida, podemos ver en la Figura 49 que se obtienen unos valores más elevados de firmeza a mayor concentración de coproducto de chufa añadido, presentando unos valores similares en las concentraciones 5% y 10%, por lo que es un aumento progresivo.

El aumento de firmeza o dureza con el paso del tiempo está relacionado con la pérdida de agua del producto, ya que a medida que pasa el tiempo se produce un endurecimiento de la corteza y la miga de la magdalena, debido a la eliminación del agua libre del producto. Las muestras que menos agua libre presentan obtendrán una mayor firmeza en el paso del tiempo.

El estudio realizado por Machado *et al.*, (2015), donde se añade quinoa, amaranto y edulcorantes a panes sin gluten determinan que la adición de quinoa y sucralosa y la adición de amaranto y acesulfamo K, obtienen una firmeza mayor que los panes elaborados in adición de quinoa y amaranto.

En el estudio llevado a cabo por Arocha *et al.*, (2012) se habla sobre el efecto de la adición de diferentes fibras en masas sin gluten. Este estudio presenta como resultados que la adición de fibras aumento la firmeza de las muestras, reduciendo a su vez la capacidad de recuperación de las muestras, ya que son dos factores que evolucionan de forma opuesta.

En el estudio llevado a cabo por Basinello *et al.*, (2011), donde se realizaba una formulación de galletas sin gluten elaboradas con arroz y adicionando diferentes cantidades de harina de frijol negro y harina integral de frijol negro, se obtienen como resultados un aumento de la dureza al añadir a la formulación harina de frijol negro y harina integral de frijol negro, obteniendo unos valores muy superiores en las muestras donde se adiciona harina integral de frijol negro. Es por ello que se puede deducir que el aumento de fibra a la adición de productos panarios produce un aumento de la firmeza de los productos.

En cuanto a la evolución de la firmeza con el paso del tiempo, estudios realizados por Garda *et al.*, (2012), donde se realizaban pruebas de evolución en el tiempo a panes sin gluten con adición de chía, se obtuvieron resultados donde a medida que aumentaba el número de días de estudio, se producía una mayor firmeza de la miga, por lo que se obtienen resultados similares a este estudio.

4.2.1.7.2. Esponjosidad o elasticidad

Otra de las evaluaciones llevadas a cabo en el análisis de textura fue la esponjosidad o elasticidad de las magdalenas elaboradas, la cual se define como la atura de recuperación tras una compresión (Goswami *et al.*, 2015).

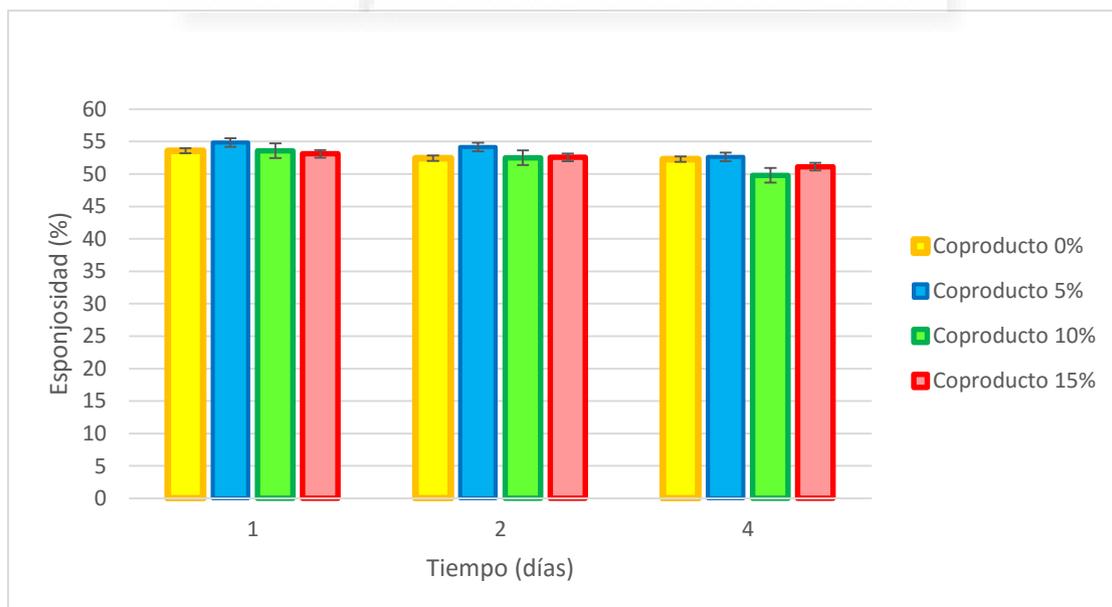


Figura 50: Valores de la esponjosidad de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

Como podemos observar en el test de Tukey (Tabla 20) y gráficamente en la Figura 50, se obtienen valores de esponjosidad muy parecidos pero a la vez con diferencias en su paso por el tiempo. Así obtenemos una menor esponjosidad a medida que transcurre el estudio, destacando este descenso de esponjosidad en las muestras con mayor cantidad de coproducto (10% y 15%)

En cuanto a la concentración de coproducto añadida, también se obtienen unos valores muy parecidos, destacando una menor esponjosidad cuanto mayor es la cantidad de coproducto añadida.

El estudio realizado por Goswami *et al.*, (2015), donde realiza una incorporación de mijo a magdalenas, obtiene unos resultados similares, donde se produce una pérdida de la esponjosidad progresiva a medida que aumenta la concentración de mijo en las muestras.

La incorporación de fibra, o coproducto como es en este caso, puede que reduzca la esponjosidad de las magdalenas, ya que esta fibra añadida retiene el agua interna del producto, presentando así unas muestras más compactas y por lo tanto, con menor esponjosidad.

4.2.2. DETERMINACIONES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS MAGDALENAS

4.2.2.1. pH y Actividad de agua (a_w)

Se realizaron mediciones de pH y actividad de agua de las muestras terminadas. El pH es un indicador microbiológico, el cual nos indica la estabilidad que tiene el producto.

Por su parte, la actividad de agua se define como la presión de vapor del agua en el producto y la presión del agua pura a la misma temperatura. Este indicador es también muy útil, ya que nos avisa del crecimiento de microorganismos (Shevkani y Singh, 2014)

El análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 21), nos indica que existen diferencias significativas de pH a medida que aumenta el número de días de estudio ($p < 0,05$). En cambio, no existen diferencias significativas de pH al adicionar diferentes concentraciones de coproducto de chufa, así como tampoco hay diferencias significativas al interaccionar el tiempo y la concentración de coproducto.

En cuanto a la actividad de agua, tras realizar el análisis de varianza (ANOVA) (Tabla 21) se puede ver que existen diferencias significativas en cuanto a la actividad de agua en la evolución del tiempo, así como diferencias estadísticamente significativas en las muestras con diferente concentración de coproducto de chufa añadido. Por otro lado, no se encuentran diferencias estadísticas en la interacción de ambos factores.

Tabla 21: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la actividad de agua y pH de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | FACTOR | SUMA DE CUADRADOS | GRADO DE LIBERTAD | MEDIA CUADRÁTICA | F | SIG. |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------|------|
| pH | Tiempo | ,099 | 2 | ,050 | 4,992 | ,026 |
| | Coproducto | ,076 | 3 | ,025 | 2,536 | ,106 |
| | Tiempo*coproducto | ,178 | 6 | ,030 | 2,981 | ,051 |
| Aw | Tiempo | ,012 | 2 | ,006 | 77,366 | ,000 |
| | Coproducto | ,002 | 3 | ,001 | 8,690 | ,002 |
| | Tiempo*coproducto | ,000 | 6 | 2,562E-5 | ,325 | ,911 |

Tras determinar que existen diferencias significativas para las variables pH y actividad de agua ($p < 0,05$), se lleva a cabo el test de Tukey (Tabla 22), donde se muestran las diferencias o similitudes entre las muestras.

Tabla 22: Resultados del test Tukey para la actividad de agua y pH de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | TIEMPO(DIAS) | | | Concentración de coproducto (%) | | | |
|----------|--------------|---|-----|---------------------------------|-------|----|----|
| | 1 | 2 | 4 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| pH | b | a | a-b | A | A | A | A |
| Aw | b | a | a | A | A – B | B | B |

a-b; A-B: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios

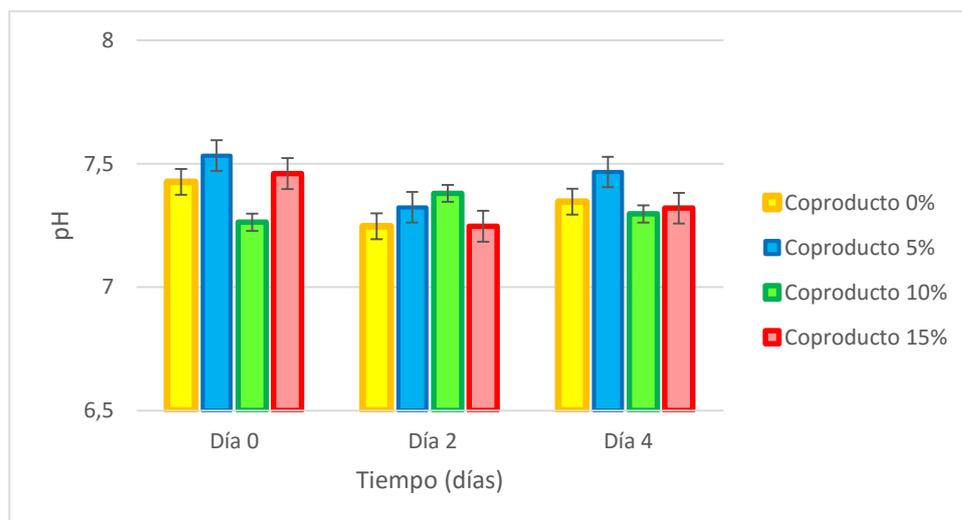


Figura 51: Valores del parámetro físico –químico pH de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

Como podemos observar en la Tabla 22 y gráficamente en la Figura 51, el pH es similar en todas las muestras, tanto en la muestra control como en las muestras con diferente adición de coproducto de chufa. Se produce un ligero ascenso de pH a medida que vamos añadiendo el coproducto.

En cambio, existen diferencias de pH a medida que transcurre el estudio, presentando similitudes entre los días 1 - 4, y 2 - 4, pero presentando diferencias entre los días 1 y 2. Podemos observar en la Figura 51, cómo a medida que transcurre el tiempo se va produciendo un descenso progresivo en las muestras.

Estudios realizados por López Salinas (2012), donde se realiza una adición de coproducto de chufa a magdalenas, también se obtuvo que la adición de este no produce cambios significativos en el pH ($p > 0,05$).

El estudio realizado por Shearer y Davies (2005), donde se elaboran magdalenas con harina de lino y harina de trigo se observa que tampoco hay diferencias significativas de pH. En dicho estudio también se realizan mediciones durante 5 días, obteniendo que no se muestran diferencias significativas de pH a lo largo del tiempo de estudio.

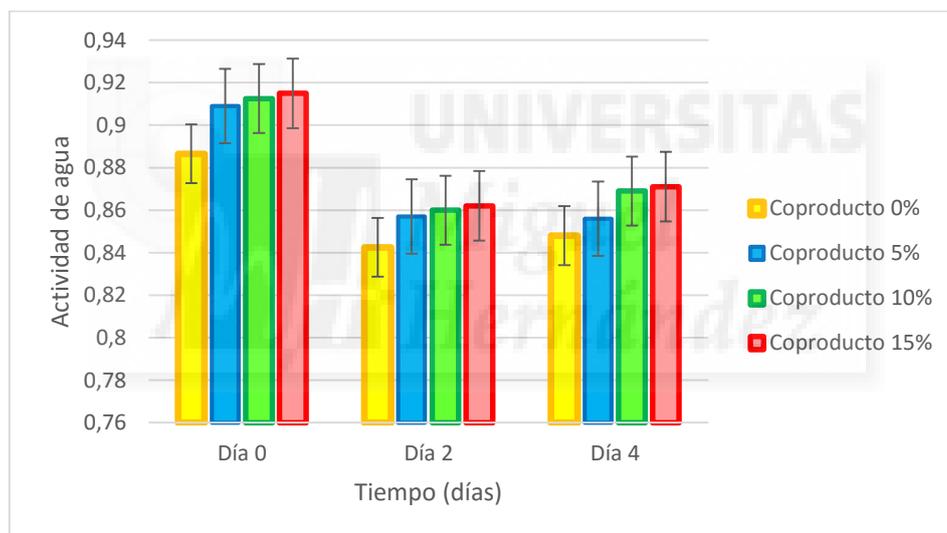


Figura 52: Valores del parámetro físico –químico a_w de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

En cuanto a la actividad de agua, como ya se ha comentado anteriormente, se puede ver que existen diferencias significativas para la actividad de agua en la evolución del tiempo, presentando diferencias entre el día uno y el resto de días.

También existen diferencias estadísticamente significativas en las muestras con diferente concentración de coproducto de chufa añadido, presentando unos valores graduales, donde las muestras con un 0 y 5% presentan similitudes y las muestras 5,10 y 15% presentan también similitudes. (Figura 52)

En el estudio realizado por López Salinas (2012), donde se incorpora coproducto de chufa a magdalenas sin gluten, se obtienen unos resultados donde la adición de

coproducto no modifica la actividad de agua, pero sí que se encuentran unos valores mayores de actividad de agua en las muestras con mayor cantidad de coproducto de chufa.

En el estudio de Garda *et al.*, (2012), se obtienen unos resultados totalmente distintos, ya que se obtienen valores de actividad de agua más altos para las muestras sin chía que para las muestras con chía. En dicho estudio se realizan también mediciones en el paso por el tiempo, obteniendo que se va produciendo un ligero aumento de este parámetro a medida que avanza el tiempo.

Machado *et al.*, (2015) en su estudio de adición de quinoa y amaranto a panes libres de gluten obtiene unos resultados de actividad de agua similares tras la adición de amaranto, pero un aumento de este valor al añadir quinoa y sucralosa.

Las muestras del presente estudio, como ya hemos visto anteriormente, sufren una pérdida considerable de peso a lo largo del tiempo de estudio con respecto a los valores iniciales. Esto es debido a la evaporación del agua libre que se encuentra en el interior. Las muestras que no contienen coproducto de chufa obtienen unos valores de actividad de agua iniciales más altos, debido a este fenómeno, y por lo tanto es a medida que transcurre el estudio se produce una pérdida mayor disminución de actividad de agua en la muestra control, con respecto a las muestras que tienen coproducto como ingrediente.

4.2.3. DETERMINACIONES QUÍMICAS DE LAS MAGDALENAS

4.2.3.1. Determinación de la humedad

Los productos panarios libres de gluten se caracterizan por tener baja capacidad de conservar la humedad durante el proceso de almacenamiento Matos Segura (2013). Esto es un factor negativo para el producto, ya que la pérdida de humedad del producto provoca una mala aceptación por parte del consumidor.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para el parámetro humedad de las magdalenas elaboradas con coproducto de chufa indica que existen diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) para todos los factores analizados, excepto para la interacción del tiempo y el coproducto añadido. Dichos resultados aparecen en la Tabla 23:

Tabla 23: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para la humedad de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | FACTOR | SUMA DE CUADRADOS | GRADO DE LIBERTAD | MEDIA CUADRÁTICA | F | SIG. |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------|------|
| HUMEDAD | Tiempo | 161,483 | 2 | 80,742 | 39,186 | ,000 |
| | Coproducto | 47,637 | 3 | 15,879 | 7,707 | ,004 |
| | Tiempo*coproducto | 28,902 | 6 | 4,817 | 2,338 | ,099 |

A continuación se muestran los resultados obtenidos para el test de Tukey (Tabla 24):

Tabla 24: Resultados del test Tukey para la humedad de magdalenas con coproducto de chufa

| VARIABLE | TIEMPO(DIAS) | | | Concentración de coproducto (%) | | | |
|----------|--------------|---|---|---------------------------------|---|----|----|
| | 0 | 2 | 4 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| HUMEDAD | a | B | b | B | A | A | A |

a-b; A-C: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios.

Según los resultados del test de Tukey (Tabla 24), la incorporación de coproducto de chufa produjo diferencias significativas de humedad en todas las muestras con respecto a la muestra control.

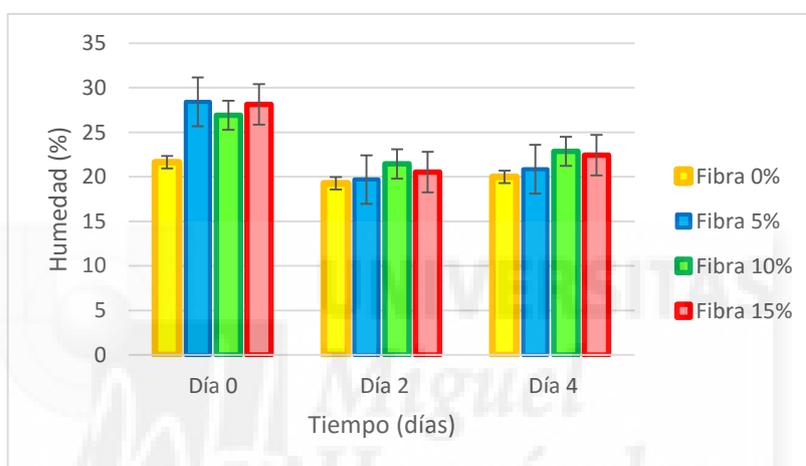


Figura 53: Valores de la humedad de las magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

Por otro lado, a lo largo del tiempo de estudio la humedad presenta unos valores similares en el día 2 y 4, difiriendo estos días del día 0.

En la Figura 53 se muestran los valores de humedad de las diferentes formulaciones de magdalenas elaboradas durante el tiempo de estudio. Se puede observar que la humedad desciende durante el tiempo de conservación ($p < 0,05$). Sin embargo, se puede ver que a tiempo 0 de estudio, los valores de humedad son mayores en el caso de las magdalenas con incorporación coproducto de chufa, respecto al control, esto se debería al hecho de que el coproducto es capaz de retener agua en su estructura (Sánchez-Zapata *et al.*, 2009).

Además, también se observa que durante el tiempo de estudio se produce un menor descenso de humedad en muestras que poseen coproducto como ingrediente. Esto se debe a que la fibra actúa reteniendo el agua y por tanto, evitando una deshidratación de las muestras en el periodo de evaluación.

El aumento de humedad tras la adición de coproducto es un aspecto deseable y muy importante a destacar, ya que durante la conservación de los productos panarios el

proceso de migración de la humedad desde la miga hacia la corteza hace que la corteza se humedezca y que la magdalena pierda su apariencia deseable, mucho antes de que se produzca un deterioro microbiológico o de cualquier otro tipo (Acosta *et al*, 2011). En cambio, al adicionar fibra a la magdalena esta humedad queda retenida, por lo que evitamos esta migración, alargando así la vida útil del producto.

El endurecimiento de las magdalenas se ha relacionado con el proceso de migración de la humedad desde la miga hacia la corteza, donde posteriormente se evapora desde la superficie del producto (Lebesi y Tzia, 2011). Estos mismos autores, en su estudio sobre la sustitución de harina de trigo por fibra dietética y salvado de diferentes cereales en magdalenas observaron que, como era de esperar, todas las magdalenas mostraron una disminución en el contenido de humedad en la miga después de seis días de almacenamiento. Aun así, las pérdidas de humedad en las magdalenas con salvado fueron más rápidas que en las magdalenas con fibra dietética añadida. Este mismo efecto fue observado por Shearer y Davies (2005) durante la conservación de magdalenas elaboradas con incorporación de diferentes tipos de fibra dietética.

En el estudio llevado a cabo por Shearer y Davies (2005), donde se elaboran magdalenas con harina de trigo y harina de linaza se observó que las muestras disminuyeron su humedad a medida que avanzaban los días de estudio, al igual que en este estudio, lo que es desfavorable sensorialmente.

4.2.4. ANÁLISIS SENSORIAL

El último parámetro a determinar en este estudio ha sido la evaluación sensorial. De esta manera se ha podido evaluar cómo influye la incorporación de diferentes concentraciones de coproducto de chufa a los parámetros de calidad, así como un la aceptación por parte de los consumidores.

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para la evaluación sensorial de las muestras se muestra en la Tabla 25:

Tabla 25: Resultados del análisis de varianza (ANOVA) para el análisis sensorial de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Factor | Factor variable | Suma de cuadrados | Grados de libertad | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------------------|---------------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|--------|------|
| Análisis sensorial | Tiempo | Color externo | 1,733 | 2 | ,867 | 1,287 | ,278 |
| | | Color interno | 5,633 | 2 | 2,817 | 4,005 | ,020 |
| | | Porosidad | 6,308 | 2 | 3,154 | 4,650 | ,001 |
| | | Esponjosidad | 9,358 | 2 | 4,679 | 6,390 | ,002 |
| | | Sabor | 37,508 | 2 | 18,754 | 1,775 | ,172 |
| | | Dulzor | 2,275 | 2 | 1,137 | 1,506 | ,224 |
| | | Aroma | 22,158 | 2 | 11,079 | 15,323 | ,000 |
| | | Forma | 2,308 | 2 | 1,154 | 1,783 | ,170 |
| | | Partículas Fibra | 7,233 | 2 | 3,617 | 3,396 | ,035 |
| | | Acep. general | 3,925 | 2 | 1,962 | 2,739 | ,067 |
| | Coproducto | Color interno | 3,146 | 3 | 1,049 | 1,491 | ,218 |
| | | Color externo | 5,079 | 3 | 1,693 | 2,514 | ,059 |
| | | Porosidad | 3,512 | 3 | 1,171 | 1,726 | ,162 |
| | | Esponjosidad | 12,679 | 3 | 4,226 | 5,772 | ,001 |
| | | Sabor | 33,412 | 3 | 11,137 | 1,054 | ,370 |
| | | Dulzor | 2,550 | 3 | ,850 | 1,125 | ,340 |
| | | Aroma | 4,946 | 3 | 1,649 | 2,280 | ,080 |
| | | Forma | 4,379 | 3 | 1,460 | 2,256 | ,083 |
| | | Partículas Fibra | 80,046 | 3 | 26,682 | 25,050 | ,000 |
| | | Acep. general | 40,346 | 3 | 13,449 | 18,771 | ,000 |
| | Tiempo * Coproducto | Color interno | 2,867 | 6 | ,478 | ,679 | ,666 |
| | | Color externo | 8,933 | 6 | 1,489 | 2,211 | ,047 |
| | | Porosidad | 2,925 | 6 | ,487 | ,719 | ,635 |
| | | Esponjosidad | 3,008 | 6 | ,501 | ,685 | ,662 |
| | | Sabor | 47,325 | 6 | 7,887 | ,746 | ,613 |
| | | Dulzor | 8,825 | 6 | 1,471 | 1,947 | ,074 |
| | | Aroma | 3,842 | 6 | ,640 | ,886 | ,506 |
| | | Forma | 13,158 | 6 | 2,193 | 3,389 | ,003 |
| | | Partículas Fibra | 9,367 | 6 | 1,561 | 1,466 | ,191 |
| | | Acep. general | 6,342 | 6 | 1,057 | 1,475 | ,188 |

Los resultados de la Tabla 25, indican que para el factor tiempo, existieron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) únicamente para los parámetros porosidad, color interno, aroma, esponjosidad y detección de partículas de fibra.

Los parámetros determinados teniendo en cuenta la concentración de coproducto presentaron como resultados que únicamente esponjosidad, detección de partículas de fibra y aceptación general presentaron diferencias significativas estadísticamente ($p < 0,05$).

Para la interacción tiempo-coproducto, el análisis de varianza (ANOVA) indica que sólo existieron diferencias significativas para el parámetro forma y color externo, no presentando diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) para el resto de parámetros

Tras determinar que existen diferencias sensoriales significativas ($p < 0,05$), se lleva a cabo el test de Tukey de las diferentes variables (Tabla 26), donde se muestran las diferencias o similitudes entre las muestras.

Tabla 26: Resultados del test Tukey para el análisis sensorial de magdalenas con coproducto de chufa

| Variable | Tiempo (días) | | | Concentración de Coproducto (%) | | | |
|---------------|---------------|---|---|---------------------------------|-------|-------|----|
| | 1 | 2 | 4 | 0 | 5 | 10 | 15 |
| Color interno | a | b | b | A | A | A | A |
| Color externo | a | a | a | A | A | A | A |
| Porosidad | a | a | a | A | A | A | A |
| Esponjosidad | a | b | a | C | B – C | A – B | A |
| Sabor | a | a | a | A | A | A | A |
| Dulzor | a | a | a | A | A | A | A |
| Aroma | a | b | b | A | A | A | A |
| Forma | a | a | a | A | A | A | A |
| Det. Fibra | a – b | a | b | A | B | C | C |
| Acep. general | a | a | a | C | B | A | A |

a-b; A-C: letras diferentes en la misma fila denotan diferencias significativas ($p < 0,05$) entre valores medios.

Como se puede ver en la Tabla 26, el factor tiempo no modificó significativamente la valoración sensorial de los parámetros forma, color externo, color interno, sabor, dulzor y aceptación general. Por lo que podemos decir que la evolución del tiempo de estudio de magdalenas con adición de coproducto de chufa no afecta significativamente a sus características sensoriales.

En cuanto a la concentración de coproducto añadida, únicamente se observan cambios significativos para los parámetros esponjosidad, detección de las partículas de fibra y aceptación general.

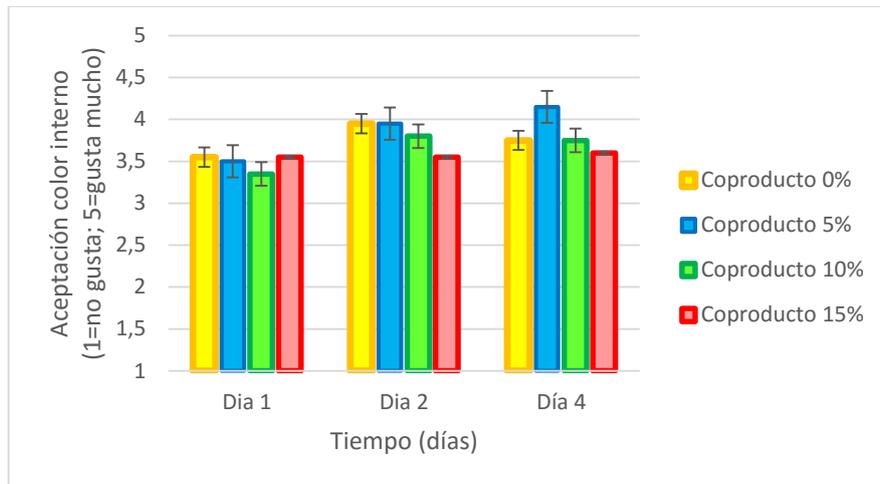


Figura 54: Valores del análisis sensorial (factor color interno) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

En la Figura 54, aparecen los valores de la evaluación sensorial realizada para el parámetro color interno de las muestras. Se puede ver que existen similitudes para los días 2 y 4 de estudio con respecto al factor tiempo. Por otro lado, para la adición de distintas concentraciones de coproducto no existen diferencias significativas, presentando unos valores similares para todas las muestras.

Se puede destacar un aumento de aceptación a medida que transcurre el estudio, para las muestras 5%. La muestra 0% y 10% presenta una mayor aceptación en el día 2, presentando posteriormente valores más bajos en el día 4.

Blanco (2014), en su estudio de incorporación de aromas de limón y canela a magdalenas elaboradas sin gluten, presenta como resultados una mayor aceptación del aroma de canela frente al aroma de limón.

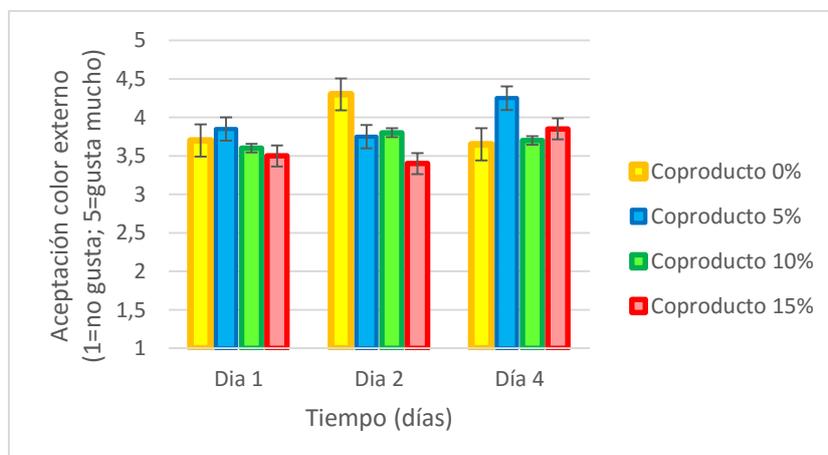


Figura 55: Valores del análisis sensorial (factor color externo) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

En la Figura 55, se muestran los resultados de la evaluación sensorial realizada para el parámetro color externo. Como se ha podido ver en el análisis ANOVA (Tabla 25), no se muestran diferencias estadísticamente significativas para el factor tiempo o para el factor coproducto, sin embargo sí que existen diferencias significativas cuando se produce la interacción de estos. Aun así, el test de Tukey (Tabla 26) nos muestra que las muestras son muy similares tanto en la evolución del tiempo como en las diferentes concentraciones de coproducto añadidas.

Es destacable la aceptación de la muestra 0% en el día 2, al igual que la muestra 5% en el día 4. El resto de valores se mantienen oscilantes entre el rango de aceptación 3,5 y 3,8.

El estudio realizado por Blanco (2014), donde introduce aromas de limón y canela a diferentes magdalenas elaboradas sin gluten, obtiene unos valores de aceptación similares a los de este estudio (entre 3 y 4), presentando unos valores más altos en la incorporación de canela.

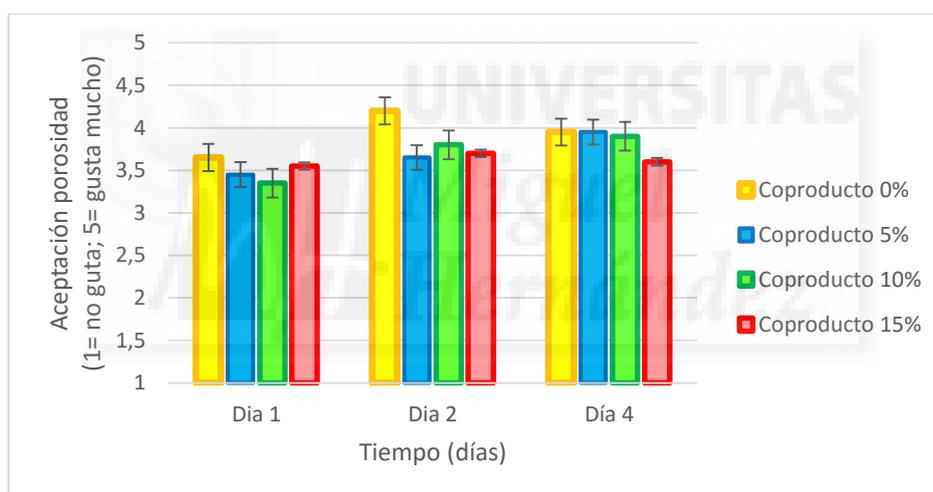


Figura 56: Valores del análisis sensorial (factor porosidad) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

En cuanto al parámetro porosidad, representados en la Figura 56, se obtienen unos resultados de aceptación similares, donde se consiguen los mismos valores teniendo en cuenta tanto la cantidad de coproducto añadida, como la evolución del tiempo. Es destacable el aumento de aceptación de este parámetro a medida que pasa el tiempo, aunque siempre manteniéndose en unos valores entre 3,5 y 4, aproximadamente.

Estudios realizados por López Salinas (2012), donde se adiciona coproducto de chufa y de naranja a magdalenas, presentan unos resultados donde las muestras con más coproducto de fibra presentan más porosidad que la muestra control (0%). Sensorialmente, se obtienen unos valores de aceptación similares a los obtenidos en este estudio, presentando unos valores iniciales similares a los obtenidos en este estudio.

El aumento de porosidad en las muestras con mayor contenido de coproducto de chufa se debe a la fibra dietética incorporada a través del coproducto (Sánchez-Zapata *et al.*, 2009). Este aumento de porosidad no ha influido significativamente en la aceptación del producto.

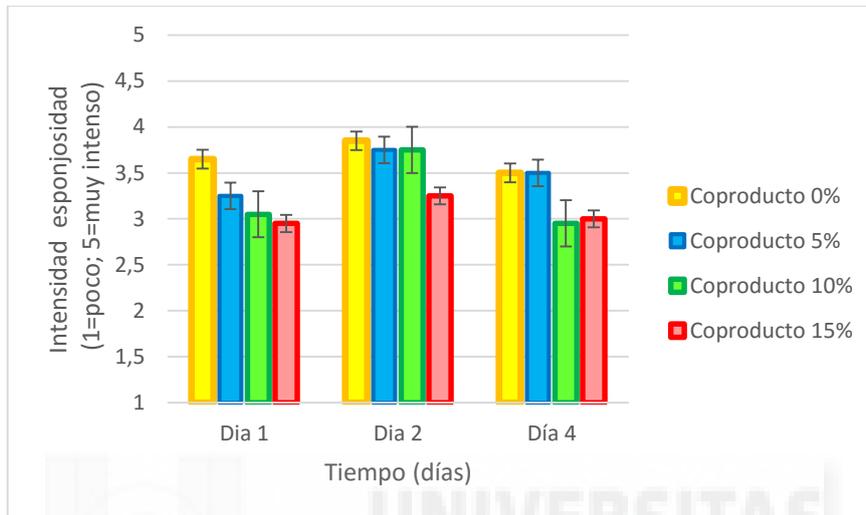


Figura 57: Valores del análisis sensorial (factor esponjosidad) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

En el presente estudio, los valores de esponjosidad presentan un descenso de aceptación a medida que se añade mayor cantidad de coproducto de chufa, como se muestra en la Figura 57. En cuanto a la evolución en el tiempo, se producen unos valores similares para el día 1 y 4 de estudio, ya que los valores de esponjosidad en el día dos de estudio presentan valores de mayor esponjosidad, reduciéndose este en el día 4 hasta llegar a los valores del día 1.

López Salinas (2012), al introducir coproducto de chufa y naranja a magdalenas, obtuvo como resultado que los catadores percibieron una esponjosidad menos agradable al paladar a medida que aumentaba la concentración de coproducto de chufa y naranja, al igual que ocurrido en el presente estudio.

En el estudio realizado por Eglantina y Culetu (2015), donde se adiciona salvado de avena a galletas sin gluten, también se obtienen valores similares a los de este estudio, ya que a medida que aumenta la cantidad de salvado de avena introducido en las muestras, se produce una disminución de la aceptación sensorial por parte de los consumidores.

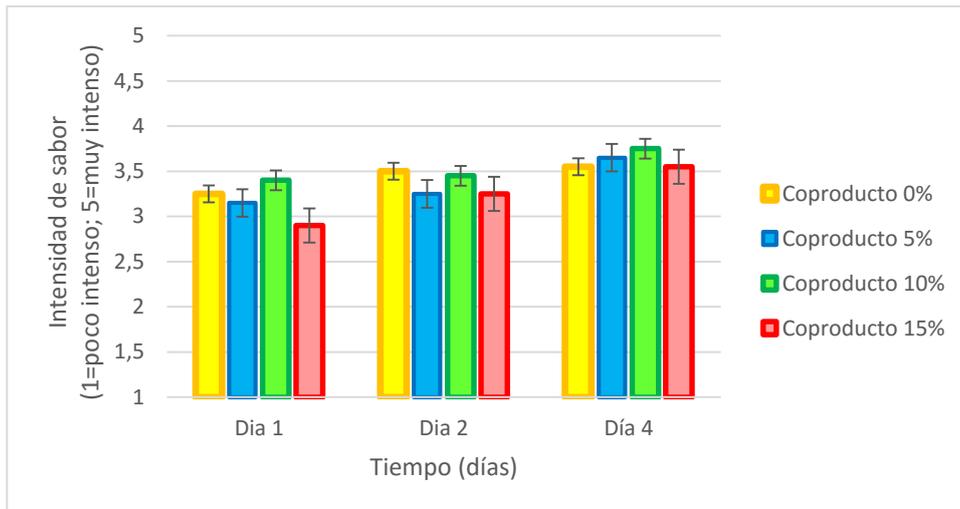


Figura 58: Valores del análisis sensorial (factor sabor) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

La Figura 58, muestra los resultados gráficos obtenidos para el análisis sensorial del factor sabor. Como hemos podido observar en el test de Tukey (Tabla 26), existen similitudes de este parámetro para las diferentes concentraciones de coproducto añadidas, así como similitudes en todas las muestras tras la evolución en el tiempo.

Cabe destacar la preferencia inicial de este parámetro para las muestras con 0% y 5% de coproducto añadido, presentando posteriormente valores similares a medida que evoluciona el estudio.

Por lo que, inicialmente los catadores prefieren el sabor de la muestra con 0% de coproducto añadido, mientras que a medida que evoluciona el tiempo, esta preferencia va decayendo, obteniendo unos valores similares en el día 4.

En el estudio realizado por Eglantina y Culetu (2015), donde se incorpora salvado de avena a galletas sin gluten, se obtienen también unos valores de aceptación de este parámetro similares, teniendo una mejor aceptación a medida que aumenta la concentración de salvado de avena en las muestras.

Goswami *et al.* (2015), en su estudio de elaboración de magdalenas con diferente concentración de mijo de corral, obtiene unos resultados similares donde, a medida que aumenta la concentración de mijo en las magdalenas, se produce una leve disminución de la aceptación sensorial para el sabor del producto.

El estudio realizado por Sabanis *et al.*,(2009), donde se añaden diferentes tipos de fibras a panes sin gluten, se obtienen unos valores de aceptación para el sabor menores en el caso de adición de avena, pero una mejora sensorial al añadir cebada y maíz.

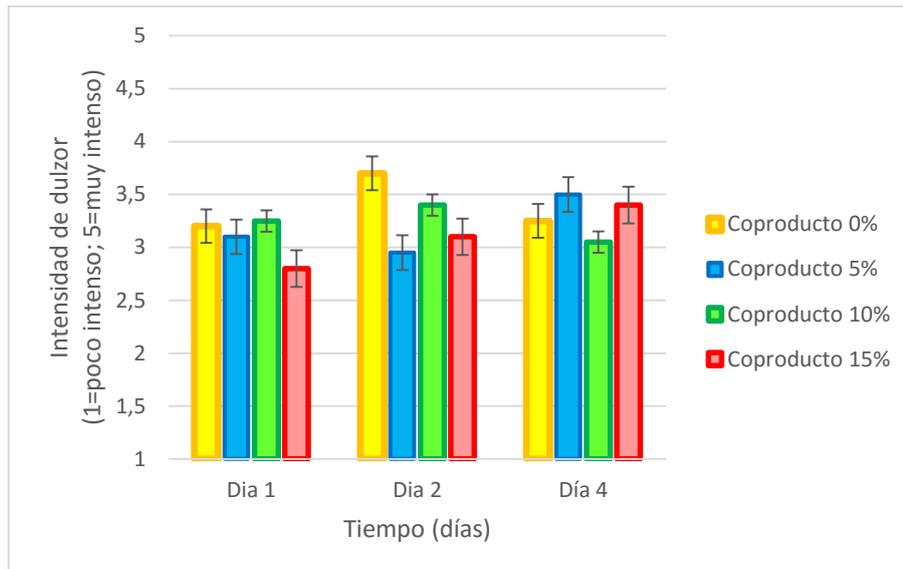


Figura 59: Valores del análisis sensorial (factor dulzor) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

En la Figura 59, aparecen los valores de la evaluación sensorial realizada para medir la aceptación del dulzor de las muestras. Se puede ver que se presentan unos valores similares de aceptación con respecto a la cantidad de coproducto de chufa añadida, así como una ligera elevación de este parámetro en las muestras 5%, 10% y 15%, durante los días 2 y 4 de estudio. Por su parte, la muestra 0% presenta una mayor aceptación el día 2 con respecto al día 1 y con respecto al resto de muestras analizadas, sin embargo, en el día 4 de estudio presenta un descenso hasta alcanzar los mismos valores que presentaba en el día 1.

A la vez, los catadores han realizado observaciones tras realizar la cata, aportando que sensorialmente se produce un aumento de dulzor en las muestras 5% y 10% en el día 4.

Eglantina y Culetu (2015), obtiene unos resultados sensoriales para este parámetro similares a los obtenidos en este estudio, ya que obtiene un leve descenso del dulzor al añadir diferentes concentraciones de salvado de avena a galletas sin gluten.

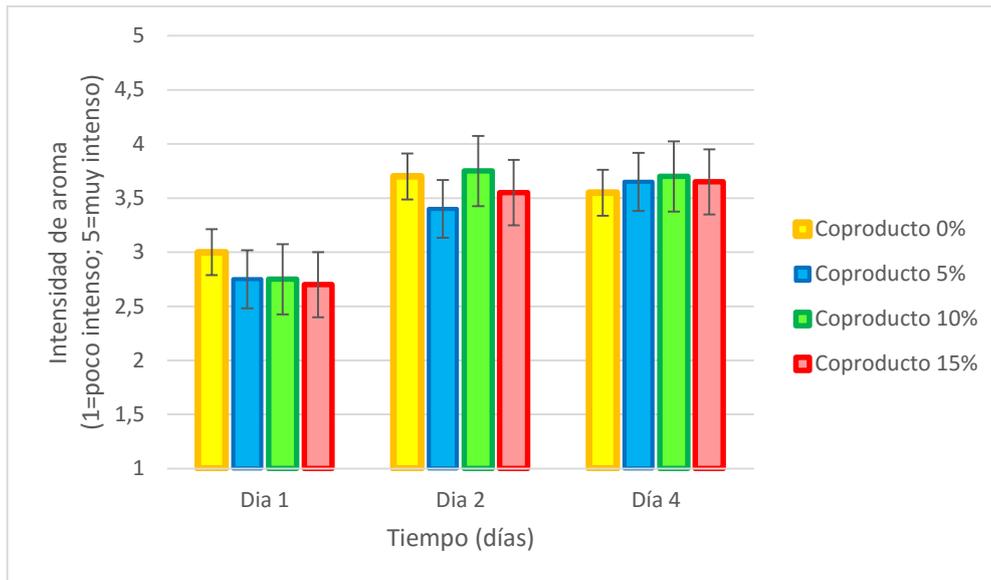


Figura 60: Valores del análisis sensorial (factor aroma) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

En cuanto a la evaluación sensorial realizada para el aroma, se obtienen unos resultados donde no existen diferencias significativas tras la adición de diferentes concentraciones de coproducto de chufa (Tabla 26). Sin embargo, como podemos observar en la Figura 60, sí que se presentan diferencias significativas con la evolución del tiempo, ya que se presentan unos valores más elevados de todas las muestras en el día 2 y 4. Estos valores se encuentran sobre 3,5 en una escala donde 1 significa poca intensidad, 3 = intensidad adecuada y 5= intensidad elevada, lo que nos hace concluir que la percepción sensorial del parámetro aroma para los catadores aumenta con la evolución del estudio, sobrepasando los valores considerados como ideales (valor de 3).

En el estudio de Goswami *et al.* (2015), se obtienen resultados similares, donde desciende la aceptación de este parámetro a medida que aumenta la cantidad de mijo añadido a las muestras.

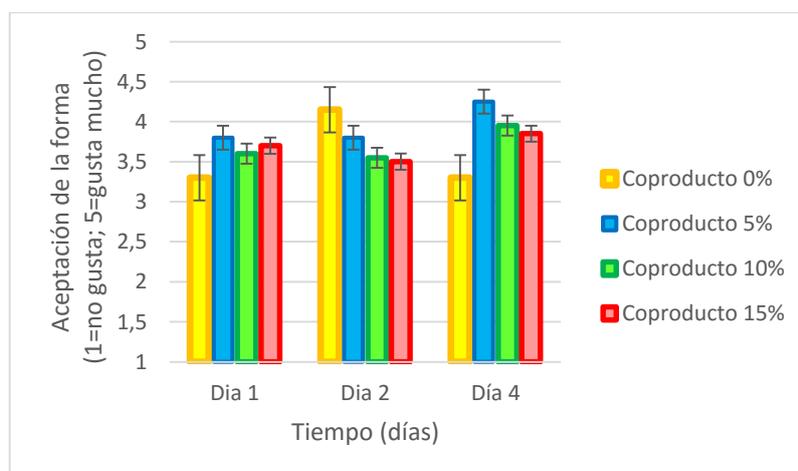


Figura 61: Valores del análisis sensorial (factor forma) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

La Figura 61, muestra la evaluación sensorial para el parámetro forma. Como hemos visto en el test de Tukey (Tabla 62), no existen diferencias significativas ni para las diferentes concentraciones de coproducto añadidas, ni para la evolución en el tiempo. Se puede destacar una aceptación más elevada en cuanto al cambio de la forma de la magdalena producido durante el tiempo, así como el notable descenso de aceptación en la forma de la muestra control (0%).

En el estudio realizado por Sudha *et al.*, (2015), donde se adiciona coproducto de mango a magdalenas, se obtienen unos resultados donde a medida que se añade coproducto, se obtienen unos valores de forma menores, como ocurre en el día 2 del presente estudio.

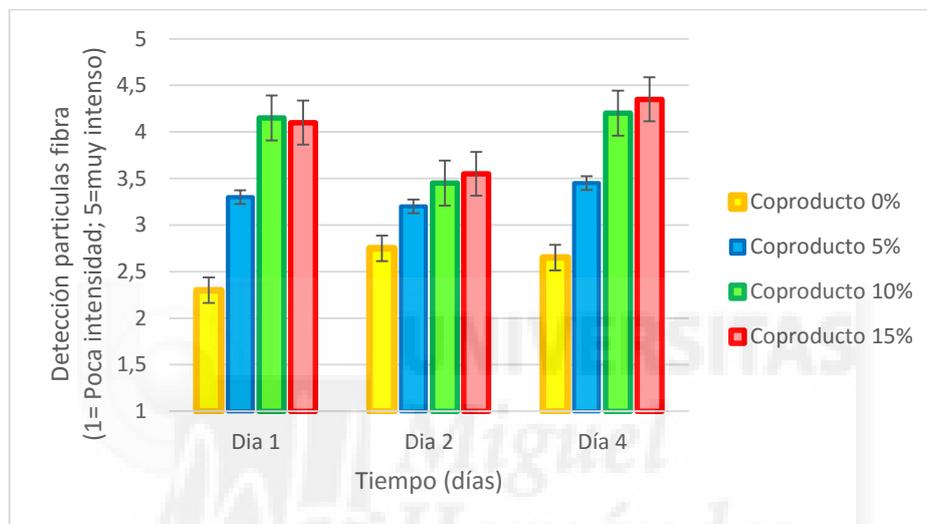


Figura 62: Valores del análisis sensorial (factor partículas de fibra) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

La Figura 62, muestra el grado de detección de partículas de fibra por parte de los catadores. Como se puede observar, se han obtenido valores similares para los días 1 y 2 y para los días 1 y 4, pero no se presentan similitudes entre los días 2 y 4. En cuanto a la concentración de coproducto, se realiza una detección mayor de partículas de fibra en las muestras 10 y 15%, presentando estos dos valores similares. Podemos destacar la menor detección de partículas de fibra en el día 2 de todas las muestras con respecto a los demás días de estudio.

Las muestras que contienen un 15% de coproducto de chufa han presentado sensaciones no deseadas, manifestadas por los catadores, donde destacan la grumosidad de la muestra y las grandes partículas de fibra.

López Salinas (2012), tras realizar la incorporación de coproducto de chufa y naranja a magdalenas, obtiene unos resultados similares a los presentados en este estudio, ya que adquiere una detección de fibra cada vez más elevada a medida que aumenta la concentración de chufa y naranja en las muestras.

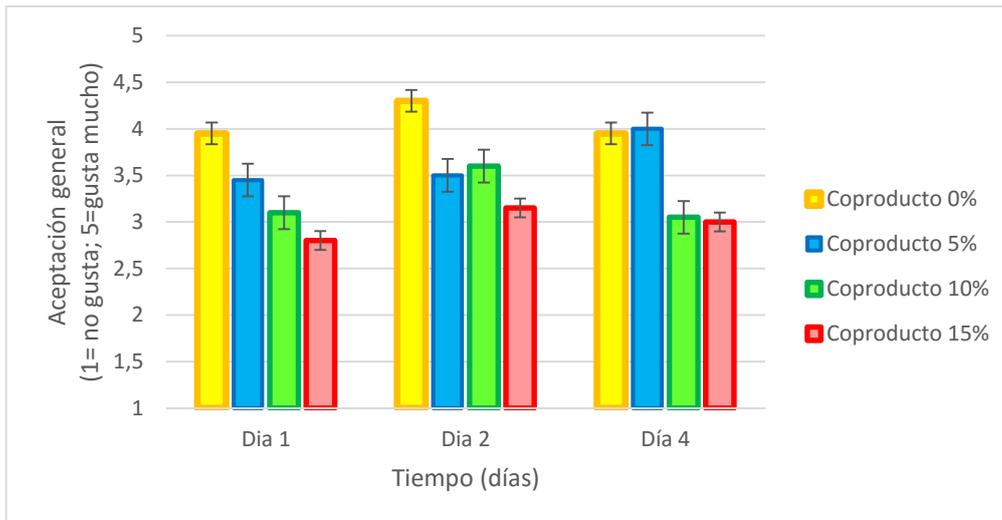


Figura 63: Valores del análisis sensorial (factor aceptación general) de magdalenas con distinta concentración de coproducto de chufa

Para finalizar el estudio sensorial, se determinó la aceptación sensorial. En dicho parámetro se obtuvo como resultados que la adición de coproducto de chufa no modifica la aceptación general de las magdalenas elaboradas en su paso por el tiempo (Figura 63). Esto es importante desde un punto de vista comercial, ya que interesa saber que los consumidores aceptarían por igual cualquiera de las muestras de magdalenas elaboradas, independientemente de la concentración de chufa añadida.

En cambio, sí que existen cambios significativos para la diferente concentración de coproducto añadida. Se presenta una aceptación más elevada en las muestras 0% y 5%, mientras que 10% y 15% obtienen unos valores similares, más bajos que 0% y 5%.

López Salinas (2012), observó en su trabajo que tras el paso por el tiempo, no se producían cambios en la aceptación de las muestras por parte de los consumidores, presentando unos valores similares tanto para el factor tiempo como para el factor coproducto.

Sudha *et al.*, (2015), en su estudio de incorporación de mango a magdalenas, también presenta unos valores más bajos de aceptación, a medida que se va aumentando la concentración de extracto de mango seco en las muestras. Al igual ocurre en el estudio de Basinello *et al.*, (2011), donde la adición de frijol negro a galletas de arroz, produce una disminución en la aceptación general.

Eglantina y Culetu (2015), tras adicionar diferentes concentraciones de avena a galletas sin gluten, y Goswami *et al.* (2015), tras adicionar diferentes concentraciones de mijo a magdalenas, obtienen también un descenso progresivo de aceptabilidad a medida que va aumentando la concentración de salvado de avena y de mijo en las muestras.

5. CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

- ❖ Los datos obtenidos para el color de la masa nos indican una menor luminosidad a medida que la concentración de coproducto aumenta en las muestras. En cuanto a la coordenada a^* , se obtienen valores similares cuando se adicionan cantidades pequeñas de coproducto, sin embargo se produce un gran aumento de esta coordenada al añadir un 15%, aumentando así la coloración roja del producto final. Por otro lado, se produce una pequeña disminución progresiva de la coordenada b^* a medida que la cantidad de coproducto aumenta, teniendo como consecuencia una coloración más azulada. Lo mismo ocurre con el croma (C^*) y el tono (h^*), ya que presentan una progresiva disminución de sus valores a medida que aumenta la concentración de coproducto. Estos valores obtenidos pueden deberse a la pigmentación aportada por el coproducto de chufa.
- ❖ Tras el horneado, se produce una disminución de la pérdida de peso a medida que aumenta la concentración de coproducto de la muestra, así como una disminución progresiva de la altura. Esto puede ser debido a la capacidad de retención de agua que tiene el coproducto de chufa, ya que actúa formando una red tridimensional, evitando así la evaporación del agua, y formando estructuras más compactas.
- ❖ A lo largo del tiempo de estudio, la densidad aumenta su valor a medida que se añade mayor cantidad de coproducto de chufa, al igual que ocurre con la pérdida de peso en el primer día. Sin embargo, se produce una menor pérdida de peso durante el tiempo en las muestras con alta concentración de coproducto de chufa. La capacidad de retención de agua produce inicialmente que se evapore el agua que ha quedado en su estado libre, pero en el tiempo de estudio es más difícil que el agua que queda ligada se evapore, por ello presenta valores menores de pérdida de peso. Como consecuencia de este fenómeno también se produce una disminución menor del diámetro de las muestras, a medida que aumenta la concentración de coproducto ya que, a mayor concentración, las muestras se encuentran más compactas, siendo más difícil producir cambios en este parámetro.
- ❖ En lo que respecta a las determinaciones de color interno y externo, la luminosidad aumenta a medida que aumenta la concentración de coproducto y la coordenada a^* y b^* disminuye, presentando una coloración más verdosa y azulada, al igual ocurre en el color interno para estas dos coordenadas. En cambio, la luminosidad interna disminuye a medida que se añade mayor cantidad de coproducto de chufa. Estos cambios de luminosidad y en las coordenadas, pueden ser atribuidos a la pigmentación aportada por el coproducto de chufa.
- ❖ En cuanto a la textura, se produce un aumento de la firmeza a medida que aumenta la concentración de coproducto y a medida que aumenta el tiempo de estudio, así como una pérdida de esponjosidad de las muestras. Estos resultados se le pueden atribuir también a la CRA del coproducto, ya que esta compacidad que presentan las muestras puede ser debida a este fenómeno.

- ❖ Los valores de pH para la muestra que contiene un 10% de coproducto de chufa presentan unos valores constantes a lo largo del estudio, presentando las demás muestras unos valores irregulares. En cuanto a la actividad de agua, inicialmente las muestras con mayor cantidad de coproducto, presentan una mayor actividad de agua y, durante el almacenamiento se produce una disminución de este parámetro para todas las muestras, teniendo siempre una mayor actividad de agua las muestras con mayor cantidad de coproducto de chufa. El coproducto de chufa podría retener el agua interna del producto, por lo que a medida que evoluciona el estudio es normal que presente mayor actividad de agua interna con respecto a las muestras con 0% de coproducto, ya que las muestras sin adición de coproducto presentan su agua en su forma libre, evaporándose esta más fácilmente con el paso del tiempo.
- ❖ Los valores de humedad son mayores a medida que la concentración de coproducto en las magdalenas aumenta. Se produce una disminución de esta a medida que aumenta el tiempo de estudio, presentando siempre valores más altos las muestras con alta concentración de coproducto de chufa. Este fenómeno también puede ser atribuido a la CRA del coproducto de chufa.
- ❖ Por último, en la evaluación sensorial se produce una gran aceptación de los parámetros color externo e interno, porosidad, sabor y dulzor. En cambio se percibe menor esponjosidad a medida que aumenta la concentración de coproducto de chufa. Las partículas de fibra son más detectables en aquellas muestras que contienen mayor cantidad de coproducto de chufa. En cuanto a la aceptación general, se produce una disminución progresiva a medida que aumenta la concentración de coproducto.

Tras la realización de este estudio, podemos concluir que los mejores resultados son para las muestras de magdalenas sin gluten con incorporación de un 5% - 10% de coproducto de chufa., ya que obtiene unos resultados de color interno, densidad, esponjosidad, pH, actividad de agua y humedad, similares a la muestra control (0%), la cual ha sido evaluada en estudios anteriores, presentando gran aceptación. En cuanto a la evaluación sensorial, se obtienen unos valores donde todas las muestras presentan gran aceptación tras el análisis sensorial, destacando la preferencias por las muestras 0% y 5% en la evolución del tiempo.

Finalmente, como conclusión general de este estudio se puede afirmar que, los coproductos generados durante el proceso de elaboración de la horchata de chufa puede ser empleado como ingrediente en la elaboración de magdalenas, minimizando así los residuos de la industria horchatera, lo que podría originar un beneficio para la industria, además de mejorar las características de los productos sin gluten.

6. BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

Acosta K., Cavender G. y Kerr W. L. (2011). Sensory and physical properties of muffins made with waxy whole wheat flour. *Journal of Food Quality*, 34: 343-351.

American Association of Cereal Chemist (AACC) (2001). The Definition of Dietary Fiber. *Cereal Foods World*, 46: 112-126.

Arocha Gularte M., de la Hera E., Gómez M., Rosell C. M. (2012). Effect of different fibers on batter and gluten-free layer cake properties. *Food Science and Technology*, 48: 209-214.

Association of European Coeliac Societies (AOECS). Disponible on-line: www.aoecs.org

Baixauli R., Salvador A., Fizman S.M. (2008). Textural and colour changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*, 226: 523-530.

Basinello P., Freitas D., Ascheri J., Takeiti C., Crvalho R., Koakuzu S., Carvalho A. (2011). Characterization of cookies formulated with rice and black bean extruded flours. *Procedia Food Science 1*: 1645-1652.

Chinma C.E., Abu J.O. y Abubakar Y.A. (2010), Effect of tigernut (*Cyperus esculentus*) flour addition on the quality of wheat-based cake. *International Journal of Food Science and Technology*, 45: 1746-1752.

Codex Alimentarius. Disponible on-line: www.codexalimentarius.org/

Codina-Torrella, Guamis B., Trujillo A., (2015). Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin. Physico-chemical characteristics and protein fractionation. *Industrial Crops and Products*, 65: 406-414

Eglantina D Y Culetu A., (2015). Evaluation of rheological, physicochemical, thermal, mechanical and sensory properties of oat-based gluten free cookies. *Journal of Food Engineering 162*: 1-8

Escudero E, González P. (2006). La fibra dietética. *Nutr. Hosp.* (2006) 21 (Supl. 2) 61 -72. ISSN 0212-1611.

Esteller, M. S., Amaral, R. L., & Lannes, S. C. S. (2004). Effect of sugar and fat replacers and the texture of braked goods. *Journal of Texture Studies*, 35(4), 383e393.

FACEJOVEN (2015) Federación de Asociaciones de jóvenes Celiacos de España. Disponible on – line: www.facejoven.org

FACE (2015). Federación de Asociaciones de Celíacos de España. Disponible on-line: www.celiacos.org

Fernández-López J., Sendra-Nadal E., Navarro C., Sayas E., Viuda-Martos M. y Pérez-Álvarez J.A. (2009). Storage stability of a high dietary fibre powder from orange by-products. *International Journal of Food Science & Technology*, 44: 748-756.

Financial Food. Periódico mensual del comercio, distribución e industria de alimentación y bebidas, Nº 312, Abril 2014.

Food and Drink Europe. *Data and trends of the European Food and Drink Industry*, (2013 -2014)

García González A. (2009). Actividad antioxidante del extracto de naranja en el paté de músculo oscuro de atún de aleta amarilla (*Thunnus albacares*). Trabajo Fin de Carrera. Universidad Miguel Hernández de Elche.

Garda M, Álvarez M, Lattanzio M., Ferraro C., Colombo M., (2012). Role of the hydrocolloids of chia and flax seeds in the optimization of gluten free breads. *DIAETA*, 30 (140): 31-38

Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. (2004). Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends in Food Science and Technology* 15: 143-152.

Gómez M., Oliete B., Rosell C.M., Pando V., Fernández E. (2008). Studies on cake quality made of wheat-chickpea flour blends. *Food Science and Technology*, 41: 1701-1709.

Goswami D., Gupta R.K, Mridula D., Sharma M., Tyagi S.K. Barnyard millet based muffins: Physical, textural and sensory properties. *Food Science and Technology* 64: 374-380

Gray J., (2006) Dietary Fibre. Definition, Analysis, Physiology and Health. *ILSI Europe Concise Monograph Series. Brussels* : ILSI

International Wheat Gluten Association (IWGA). Disponible on-line: www.iwga.net

Instituto Nacional de Estadística (INE) (2013; 2014)

Ji Y., Zhu K., Qian H., Zhou H. (2007). Staling of cake prepared from rice flour and sticky rice flour. *Food Chemistry*, 104: 53-58.

Jones, J. (2000). Update on defining dietary fiber. *Cereal Foods World*, 45 (No. 5): 219 - 221

Khan K, Nygard G. 2006. Gluten. In: Bakery Products. *Science and Technology*.

Kupper, C (2005). Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterol* 128: S121-7.

Lebesi D.M. y Tzia C. (2011). Effect of the addition of different dietary fiber and edible cereal bran sources on the baking and sensory characteristics of cupcakes. *Food Bioprocess Technology*, 4: 710-722.

López Salinas I. (2012). Aplicación de co-productos de chufa y naranja en magdalenas. Trabajo Fin de carrera. E.P.S.O. Universidad Miguel Hernández.

Machado N., Joy C., Dutra I., Carvalho E., Andr H. (2015). Addition of quinoa and amaranth flour in gluten-free breads: Temporal profile and instrumental analysis. *LWT-Food Science and Technology*, 62: 1011-1018.

Marco C, Rosell CM. 2008a. Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *European Food Research and Technology* 227, 1205-1213.

Martínez-Cervera S., Salvador A., Sanz T., (2015). Cellulose ether emulsions as fat replacers in muffins: Rheological, thermal and textural properties. *Food Science and Technology*, 63. 1083-1090.

Martínez M., Díaz A., Gómez M. (2014) Effect of different microstructural features of soluble and insoluble fibres on gluten-free dough rheology and bread-making. *Journal of Food Engineering* 142: 49-55.

Mateos-Aparicio I. (2008). Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de productos funcionales. Comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria. Memoria para optar al grado de doctor. Universidad Complutense de Madrid.

Matos Segura M. (2013). Formulación y desarrollo de productos horneados libres de gluten a base de harina de arroz enriquecido con proteínas. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.

Matsakidou A., Blekas G., Paraskevopoulou A. (2010). Aroma and physical characteristics of cakes prepared by replacing margarine with extra virgin olive oil. *Food Science and Technology*, 43: 949-957.

Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), 2015.

Molina-Rosell C. (2013). Alimentos sin gluten derivados de cereales. En Rodrigo L y Peña AS, editores. Enfermedad celíaca y sensibilidad al gluten no celíaca. Barcelona, España: *OmniaScience*; 2013. 447-461.

Mongeau, R., Scott, F.W. y Brassard, (1999). Definition and analysis of dietary fiber. En: Susan Sungsoo Cho, Leon Prosky, Mark Dreher (eds). *Complex Carbohydrates in Foods*. Marcel Dekker, Inc. New York.

Muñoz Marín M.C. (2013). Utilización de los subproductos de la horchata de chufa en la industria cárnica. Trabajo fin de carrera Ingeniería Técnica Industrial. Universidad Politécnica de Cartagena.

Nachay K. (2010). Gluten-free offerings increase. *Food Technology* 64, 13-14.

Pérez Álvarez J.A. y Fernández López J. (2001). Aspectos físicos, fisiológicos, psicológicos, químicos e instrumentales para la determinación del color en alimentos. Universidad Miguel Hernández Elche. Alicante.

Real Academia de la Lengua Española (RAE) (2015). Disponible on-line: www.rae.es

Real Decreto 496/2010, de 30 de abril, por el que se aprueba la norma de calidad para los productos de confitería, pastelería, bollería y repostería. (2010). Boletín oficial del estado 118 (I): 42.349-42.354.

Reglamento Delegado (UE) 1155/2013 de la Comisión, de 21 de agosto, por el que se modifica el Reglamento (UE) 1169/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor en lo referente a la información sobre la ausencia o la presencia reducida de gluten en los alimentos. L306/7.

Reglamento de ejecución (UE) No 828/2014 de la comisión de 30 de julio de 2014 relativo a los requisitos para la transmisión de información a los consumidores sobre la ausencia o la presencia reducida de gluten en los alimentos. (2014). Diario Oficial de la Unión Europea, L 228/5.

Reglamento (CE) No 41/2009 de la comisión de 20 de enero de 2009 sobre la composición y etiquetado de los productos alimenticios apropiados para personas con intolerancia al gluten. (2009). Diario Oficial de la Unión Europea, L 16/3.

Reglamento (CE) No 852/2004 del parlamento europeo y del consejo, de 29 de abril de 2004, relativo a la higiene de los productos alimenticios. (2008). Diario Oficial de la Unión Europea, L 139/1.

Reglamento (UE) No 1169/2011 del parlamento europeo y del consejo de 25 de octubre de 2011 sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. (2011). Diario Oficial de la Unión Europea, L 304/18

Reglamento (CE) 2073/2005 de la Comisión, de 15 de noviembre de 2005, relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios. (2005). Texto perteneciente a efectos del EEE. L 338.

Ródenas (2014) Caracterización y estudio durante el almacenamiento de magdalenas sin azúcar. Trabajo Fin de Grado E.P.S.O. Universidad Miguel Hernández.

Rosell CM, Gómez M. (2006) Rice in: Bakery products: Science and Technology. Ed Y.H. Hui. 2006. *Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA*. 123-133. ISBN: 978-0-8138-0187-2.

Sabanis D., Lebesi D., Tzia C. (2009) Effect of dietary fibre enrichment on selected properties of gluten-free bread. *Food Science and Technology* 42: 1380-1389.

Sánchez Zapata E., Muñoz C.M., Fuentes E., Pérez-Álvarez J.A., Fernández López J., (2013). Effect of tiger nut fibre on addition on the quality and safety of a dry-cured pork sausage (“Chorizo”) during the dry-curing process. *Meat Science*, 95: 562-568.

Sánchez Zapata E., Fuentes Zaragoza E., Fernández López J., Sendra E., Sayas E., Navarro C. y Pérez Álvarez J.A. (2009). Preparation of dietary fiber powder from tiger nut (*Cyperus esculentus*) milk (“Horchata”) byproducts and its physicochemical properties. *J. Agric. Food Chem.* 57: 7719-7725.

Sánchez Zapata E., Zunino V., Fernández López J., Sendra E., Sayas E., Navarro C., Pérez-Álvarez J.A. (2010). Effect of tiger nut fibre on quality characteristics of pork burger. *Meat Science*, 85: 70-76.

Sánchez Zapata E. (2012). Revalorización de subproductos de la industria horchatera: caracterización y aplicación en alimentos. Memoria realizada para optar al grado de Doctor. Universidad Miguel Hernández Elche.

Sanz, T., Salvador, A., Baixauli, R., & Fiszman, S.M. (2009). Evaluation of four types of resistant starch in muffins. II. Effects in texture, colour and consumer response. *European Food Research and Technology*, 229, 197–204. DOI 10.1007/s00217-009-1040-1.

Sciarini, L. S., Ribotta, P. D., León, A. E., & Pérez, G. T. (2012). Incorporation of several additives into gluten free breads: effects on dough properties and bread quality. *Journal of Food Engineering*, 111: 590-597.

Shearer A.E.H. y Davies C.G.A. (2005). Physicochemical properties of freshly baked and stored whole-wheat muffins with and without flaxseed meal. *Journal of Food Quality*, 28: 137-153.

Shevkani K. y Singh N. (2014). Influence of kidney vean, field pea and amaranth protein isolates on the characteristics of starch-based gluten-free muffins. *International Journal of Food Science and Technology*. DOI:10.1111/ijfs. 12537.

Sudha M., Indumathi K., Sumanth M., Rajarathnam S., Shashirekha M. (2015) Mango pulp fibre waste: characterzation and utilization as a bakery product ingredient. *Springer Science Business Media New York*.

Ziobro R., Witczak T., Juszczak L., Korus J. (2013). Supplementation of gluten-free bread with non-gluten proteins. Effect on dough rheological properties and characteristic. *Food Hydrocolloids* 32: 213-220.