

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA***

ELABORACIÓN DE PAN DE MOLDE CON SUBPRODUCTOS DE LA INDUSTRIA CERVECERA

presentado por

Zaida Sesma Arizcuren-ek

aurkeztua

**GRADO EN INNOVACIÓN EN PROCESOS Y PRODUCTOS ALIMENTARIOS
*GRADUA ELIKAGAI PROZESU ETA PRODUKTUEN BERRIKUNTZAN***

Junio 2017-ko Ekaina

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a mis profesores, especialmente a Iñigo y a Idoya, porque gracias a su tiempo, dedicación y paciencia ha sido posible que este trabajo llegue a su fin. Gracias por el apoyo, respeto a mis ideas, y por la dirección y tutorización.

También lo hago extensivo al resto de profesorado a lo largo de mi vida, que compartieron sus conocimientos, tiempo, dedicación y actividad docente.

Agradezco a toda mi familia por su apoyo incondicional y no dejarme caer. No olvido a mis amigos que también forman parte de mi familia y están siempre ahí.

Además, agradezco a mis compañeros de Ecotrophelia por esta gran experiencia.

RESUMEN

En el presente estudio se han realizado ensayos de panificación introduciendo como materia prima dos subproductos de la industria cervecera, el bagazo y las lías de fermentación.

Se han analizado dos formas diferentes de adición de las lías de fermentación, directamente en fresco y elaborando previamente masa madre.

Además, se estudiaron dos variedades de masa madre, una elaborada a partir de harina de trigo, y otra de harina de trigo y bagazo.

Los panes resultantes de estos ensayos fueron caracterizados desde el punto de vista físico químico.

Los resultados obtenidos permiten concluir que, las lías de fermentación en fresco no llegan a aportar el volumen suficiente y proporcionan un sabor muy amargo al pan; la masa madre de trigo es mejor agente fermentativo que la elaborada a partir de trigo y bagazo; y que al aumentar el contenido de masa madre aumenta el volumen del pan y su firmeza disminuye.

Adicionalmente se observó que el volumen y la firmeza del pan no se modifican en exceso con la incorporación de un 15 % de harina bagazo. No obstante, la adición de tanto harina de bagazo como de masa madre, hacen que el pan adquiera un color más oscuro.

Con la incorporación de bagazo y de lías de fermentación se consiguen panes con características nutricionales mejoradas, destacando el aumento de fibra.

PALABRAS CLAVE: Lías de fermentación, bagazo, masa madre, volumen, firmeza.

ABSTRACT

In this study bread making trials were conducted introducing two by-product of the brewing industry as raw materials; brewery spent grain (BSG) and lees from fermentation.

Two different methods of addition of the beer lees were analyzed: directly in fresh and as sourdough.

Furthermore, two varieties of sourdough were used, one made from wheat and the other from wheat and BSG flour.

The resulting breads from the trials were characterized from a physical chemical perspective.

The results obtained served to conclude that lees from fermentation added directly in fresh did not generate sufficient bread volume and also produced a bitter tasting bread; while the wheat sourdough is a better fermentation agent than the sourdough prepared with wheat and BSG flour. By increasing the content of the sourdough, the volume of the bread also increased while its firmness decreased.

In addition, it was observed that the incorporation of 15 % BSG flour did not modified by itself the volume and firmness of the bread. However, both the BSG flour and the BSG-wheat sourdough gave the bread crumb a darker color.

The incorporation of the BSG and the lees from fermentation produce breads with improved nutritional characteristics, more specifically the increase of fiber.

KEY WORDS: lees from fermentation, brewery spent grain (BSG), sourdough, volume, firmness.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	8
1.1.	Definición y tipos de pan	8
1.2.	Materias primas	8
1.3.	Proceso de elaboración del pan.....	9
1.4.	Valorización de los subproductos	10
1.5.	Bagazo y lías de fermentación de la industria cervecera	11
1.6.	Uso del bagazo en la alimentación humana	14
1.7.	Sustitución de la levadura comercial	15
2.	OBJETIVO	17
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1.	Materiales	18
3.1.1.	Materias primas básicas	18
3.1.2.	Bagazo.....	18
3.1.3.	Lías de fermentación	19
3.1.4.	Maquinaria	20
3.1.5.	Equipos de análisis y materiales auxiliares.....	20
3.2.	Pan de referencia.....	21
3.3.	Ensayos de elaboración de masa madre.	24
3.4.	Ensayos de panificación	25
3.5.	Análisis físico-químicos del pan	26
3.5.1.	Volumen y dimensiones	26
3.5.2.	Firmeza	27
3.5.3.	Color	27
3.5.4.	pH y acidez.....	28
3.6.	Análisis estadísticos	28
4.	RESULTADOS.....	29
4.1.	Características del pan de referencia	29
4.2.	Masa madre	29
4.3.	Ensayos de panificación	32
4.3.1.	Ensayos de sustitución de levadura de panificación sin incorporación de bagazo.....	32

4.3.2. Ensayos combinando la sustitución de levadura y la incorporación de bagazo.....	37
4.3.3. Masa madre de trigo y bagazo	40
4.4. Análisis de correlaciones lineales y de componentes principales.....	44
5. CONCLUSIONES.....	48
6. BIBLIOGRAFÍA	49
7. ANEJO I	52
Ensayos de panificación con 100 % de harina de trigo	53
Ensayos de panificación incorporando 15 % de harina de bagazo	57

Índice de Tablas

Tabla 1. Composición química del bagazo (Aliyu & Bala, 2011).....	13
Tabla 2. Propiedades físico químicas harina lagun especial.....	18
Tabla 3. Propiedades reológicas harina lagun especial	18
Tabla 4. Caracterización de la harina de bagazo	19
Tabla 5. Carga de las lías de fermentación (log ufc/g) a lo largo del tiempo	20
Tabla 6. Formulación inicial pan de referencia	23
Tabla 7. Formulación final pan control.....	23
Tabla 8. Proporciones masa madre de harina de trigo	24
Tabla 9. Proporciones masa madre elaborada a partir de harina de trigo y bagazo	24
Tabla 10. Proporciones de masa madre elaborada a partir de harina de bagazo	25
Tabla 11. Ensayos de panificación	26
Tabla 12. Características físico-químicas del pan control	29
Tabla 13. Formulación de pan elaborado a partir de 20% de lías de fermentación en fresco	32
Tabla 14. Formulación de pan elaborado a partir de 25% de lías de fermentación en fresco	32
Tabla 15. Formulación de pan elaborado a partir de masa madre de trigo	33
Tabla 16. Análisis físico-químicos de las formulaciones de lías de fermentación en fresco y masa madre de trigo.....	33
Tabla 17. Formulación con masa madre de trigo e incorporación de 15% de bagazo.....	37
Tabla 18. Características físico-químicas tras la incorporación de un 15% de bagazo ..	37
Tabla 19. Formulación elaboradas a partir de masa madre de trigo y bagazo, con y sin el 15% de incorporación de bagazo.....	40
Tabla 20. Parámetros físico-químicos de los panes elaborados a partir de masa madre de trigo y bagazo	41
Tabla 21. Matriz de correlaciones	44
Tabla 22. Análisis de componentes principales.....	45

Tabla 23. Pesos de las propiedades de los panes en los componentes	45
--	----

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de cerveza	11
Figura 2. Bagazo húmedo	14
Figura 3. Acondicionamiento de bagazo	19
Figura 4. Acondicionamiento de las lías de fermentación	19
Figura 5. Diagrama de flujo de elaboración del pan	21
Figura 6. Principales equipos para la elaboración de pan, amasadora, cámara climática y horno	21
Figura 7. Diagrama de máquinas en la elaboración del pan	22
Figura 8. Texturómetro TA.XT.PLUS	27
Figura 9. Espacio tridimensional CIELAB	27
Figura 10. DigiEye, VeriVide.....	28
Figura 11. Pan de referencia.....	29
Figura 12. Relación Volumen/volumen inicial de las masas madres a lo largo del ensayo de crecimiento.....	30
Figura 13. Ensayo velocidad de crecimiento masa madre de trigo	30
Figura 14. Masa madre de trigo tras 30 minutos de prefermentación.....	30
Figura 15. Ensayo de velocidad de crecimiento masa madre de trigo y bagazo	31
Figura 16. Ensayo de velocidad de crecimiento masa madre de bagazo.....	31
Figura 17. Volumen de los panes a los que se les ha sustituido la levadura por lías de fermentación (frescas o en masa madre)	34
Figura 18. Firmeza de los panes a los que se les ha sustituido la levadura por lías de fermentación (frescas o en masa madre)	34
Figura 19. Imágenes tomadas por el DigiEye de los panes a los que se les ha sustituido la levadura por lías de fermentación (directamente o en masa madre)	35
Figura 20. Volumen de los ensayos de panificación incorporando 15% de bagazo	38
Figura 21. Firmeza de los ensayos realizados a partir de 15% de bagazo.....	39
Figura 22. Imágenes ensayos de panificación con incorporación de 15% de bagazo....	39
Figura 23. Volumen de los ensayos de panificación a partir de masa madre de trigo y bagazo.....	41
Figura 24. Firmeza de los panes elaborados a partir de masa madre de trigo y bagazo	42
Figura 25. Imágenes ensayos de panificación con masa madre de trigo y bagazo.....	43
Figura 26. Representación de las variables estudiadas en los dos componentes principales.....	46
Figura 27. Distribución de las formulaciones según los dos primeros componentes principales.....	46

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Definición y tipos de pan

El pan es un producto perecedero, resultante de la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, esta masa es fermentada por levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, y posteriormente es cocida.

El código alimentario clasifica a los panes en dos grupos:

- Pan común: elaborado con harina de trigo, sal, levadura y agua, al que se le pueden añadir ciertos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados.
- Pan especial es aquel que, por su composición, por incorporar algún aditivo o coadyuvante especial, por el tipo de harina, por otros ingredientes especiales (leche, huevos, grasas, cacao, etc.), por no llevar sal, por no haber sido fermentado, o por cualquier otra circunstancia autorizada, no corresponde a la definición básica de pan común.

1.2. Materias primas

Harina

Producto obtenido tras la molienda del endospermo del grano de trigo limpio, si la harina se elabora a partir de otro cereal o leguminosa que no sea el trigo será necesario indicarlo. Se trata de harina integral si además del endospermo aparecen todos los componentes del grano del cereal.

Los componentes principales de la harina son el almidón y las proteínas, el 85% de estas proteínas son las gliadinas y gluteninas, proteínas insolubles que en conjunto reciben el nombre de gluten. Con la adición de agua tienen la capacidad de unirse dando lugar a la red de gluten. La harina es la encargada de proporcionar las características plásticas al pan. Las proteínas, que se unen formando la red de gluten, son las encargadas de la retención del CO₂ que se produce durante la fermentación. Esto es determinante para el volumen final del pan. Otra función importante del gluten es la formación de la estructura de la miga (Calvel, 1983; Eliasson y Larsson, 1993; Calaveras, 1996).

Agua

Es el segundo componente en volumen de la masa y es el que posibilita el amasado de la harina. El agua es necesaria para la formación de la red de gluten, ayudada de la energía que se aporta durante el amasado, la masa adquiere las características plásticas. La presencia de agua también es fundamental para el desarrollo de levaduras que se encargan de la fermentación del pan. Otro aspecto importante del agua es que permite controlar la temperatura de la masa (Calvel, 1983).

Sal

Principalmente se añade al pan para darle sabor, otra de sus funciones es regular la fermentación y favorecer la coloración de la corteza del pan durante la cocción. Además, ayuda a aumentar la capacidad de retención de agua de la masa (Calvel, 1994).

Levadura

Componente microbiano que se le añade a la masa con el objetivo de que realice la fermentación, convirtiendo los azúcares en etanol y CO₂. Este CO₂ queda atrapado en la red de gluten lo que hace que la masa aumente su volumen y se vuelva esponjosa. Los principales componentes presentes son levaduras, que realizan la fermentación alcohólica, aunque también pueden estar presentes bacterias, que actúan durante la fermentación aportando al pan determinadas características organolépticas.

Existen diferentes tipos de levaduras para panificación:

- Levadura comercial o levadura de panadería: se prepara industrialmente a través de cultivos de microorganismos, principalmente de *Saccharomyces cerevisiae* (Callejo, 2002).
- Masa madre: se prepara a partir de la microflora propia de la harina. Se mezclan harina y agua y se deja reposar para que por sí sola consiga fermentar. Se emplea en el sistema de elaboración mixto, basado en el uso de ambos tipos de levaduras, comercial y masa madre, como agente fermentativo (Tejero, 1992-1995). Mejoran el sabor y aroma del pan, el pH ácido de la masa madre favorece el desarrollo de la red de gluten, lo que provoca una mayor retención de gas, dando lugar a panes con mayor volumen y miga más fina y cohesiva. Otro beneficio que aporta el uso de masa madre es que consigue mejorar el valor nutricional del pan.

1.3. Proceso de elaboración del pan

Las principales etapas del proceso de elaboración del pan (Alegre, 2009), son las siguientes:

Amasado

Su principal objetivo es lograr la mezcla de todos los ingredientes y por medio del trabajo mecánico de la masa conseguir que esta adquiera las características plásticas y su oxigenación. Esta fase del proceso se realiza con una amasadora, la más común es la amasadora en espiral.

División y boleado

Dividir la masa en piezas del peso requerido, a estas piezas se les proporciona forma de bola con el objetivo principal de reconstruir la estructura de la masa tras la división.

Reposo

Se realiza para dejar reposar la masa y que esta se recupere de la desgasificación que sufre tras la división y boleado.

Formado

El principal objetivo de esta etapa es dar la forma deseada a cada pan.

Fermentación

Consiste en la fermentación alcohólica realizada por las levaduras que consumen los azúcares de la masa y producen etanol, CO₂ y algunos otros productos secundarios. El objetivo de la formación de CO₂ es que se quede retenido en la masa, y esta aumente su volumen y se torne esponjosa. Las condiciones de fermentación se encuentran alrededor de 30°C y 75% de humedad relativa, durante un periodo de entre 60 y 90 minutos.

Cocción

Su objetivo principal es transformar la masa ya fermentada en pan. Otros procesos que se dan durante esta etapa son la evaporación de todo el etanol producido por las levaduras durante la fermentación, la evaporación de parte del agua contenida en el pan, la coagulación de las proteínas, transformación del almidón en dextrinas y azúcares menores y pardeamiento de la corteza del pan. Aunque el interior de pan nunca supera los 100°C se somete a temperaturas de alrededor de 220°C durante el proceso de cocción del pan.

1.4. Valorización de los subproductos

La industria alimentaria se caracteriza por generar una importante cantidad de residuos. Muchos de estos residuos tienen gran potencial para aprovecharlos como subproductos.

Es por ello que la industria alimentaria, con el objetivo de conseguir un desarrollo sostenible, está aplicando medidas para aprovechar y valorizar los subproductos generados. Sin embargo, la reutilización completa de los subproductos sigue siendo un problema no resuelto.

Actualmente la legislación de la Unión Europea intenta fomentar al máximo la explotación de subproductos.

Esta valorización puede realizarse mediante la utilización de subproductos de otras industrias para conseguir nuevos productos mejorados desde el punto de vista nutricional (Vieira et al., 2016).

Asimismo, este aprovechamiento crea nuevas fuentes de riqueza que aportan una mayor rentabilidad económica al proceso industrial de partida (Fernández Ginés, J.M., et al., 2008).

1.5. Bagazo y lías de fermentación de la industria cervecera

Hoy en día, la cerveza es una de las bebidas alcohólicas más populares, esta se encuentra entre las cinco bebidas más consumidas del mundo con una producción estimada de 1,34 billones de hectolitros al año (Fillaudeau et al., 2006). Por lo tanto, la industria cervecera es un gran negocio global. Esta industria se encuentra muy preocupada en las tecnológicas que emplean, así como en la rentabilidad del proceso y del producto (Ferreira & O. Pinhoa, b, 2010). La industria cervecera genera una impórtate cantidad de residuos, los cuales pueden ser gestionados como subproductos siendo aprovechados por otras industrias (alimentación humana, alimentación animal, farmacia, etc.) o para utilización agrícola como abono orgánico.

La mayor parte de los restos generados en las cervecerías son de carácter orgánico/subproductos (kg/hl de cerveza envasada)

- Bagazo 16,99-23,09
- Levadura (lías de fermentación) 1,4-3,61

A continuación, en la Figura 1, se presenta el diagrama de flujo de la elaboración de cerveza, marcándose las etapas en las que se obtienen los subproductos más importantes, con respecto al peso.

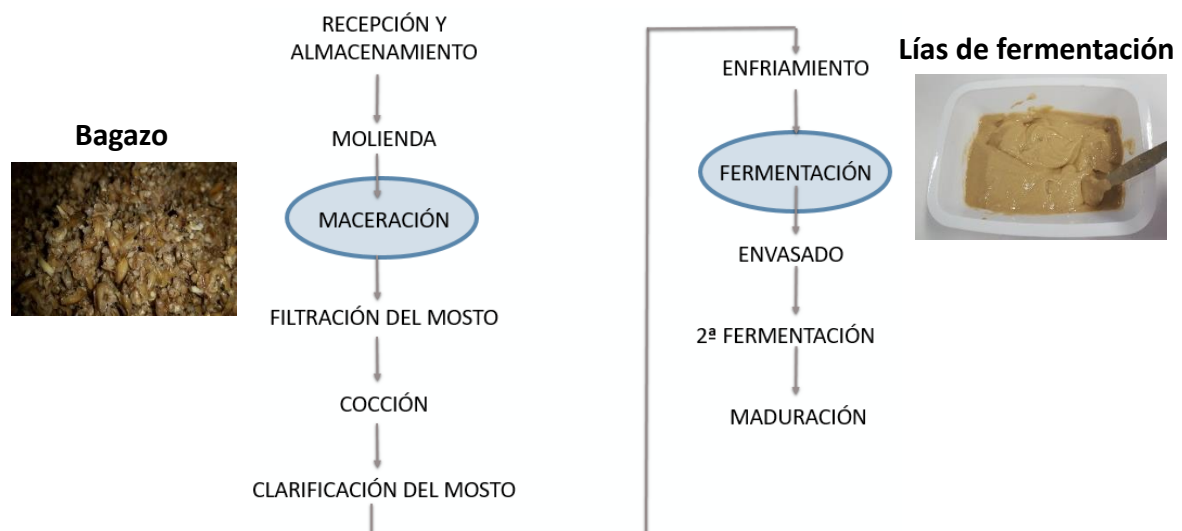


Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de cerveza

Tras el proceso de elaboración de la cerveza se obtienen dos subproductos principales, bagazo y lías de fermentación, estos se utilizarán como materia prima en la elaboración del pan. Para ello es necesario acondicionarlos, preparándolos para ser añadidos.

El primero de los subproductos, el **bagazo**, se recoge después del proceso de maceración de la cerveza cuando se filtra separando el mosto del resto sólido. Actualmente se utiliza sobre todo para alimentación animal, apreciado por los ganaderos de las zonas próximas a las fábricas cerveceras, sin embargo, las instalaciones ubicadas en zonas donde no existe actividad ganadera tienen problemas para deshacerse de él (Ministerio de Medio Ambiente, 2005).

La cebada es uno de los cereales más importantes después del trigo, el maíz y el arroz, su uso más habitual es como alimento para animales y como materia prima en la industria cervecera. Este cereal se caracteriza por ser rico en almidón y proteínas. Para la elaboración de la cerveza es necesario lavar el grano de cebada y clasificarlo según su tamaño. La cebada se convierte en malta tras un proceso de germinación controlada, que sirve principalmente para aumentar el contenido enzimático del grano. El malteado se realiza en tres etapas: remojo, germinación y secado. Esta malta se introduce como materia prima en la elaboración de la cerveza y después del proceso de maceración se obtiene el subproducto, bagazo (Mussatto, Dragone, & Roberto, 2006).

El bagazo es generado a grandes volúmenes mundialmente, se estima que la producción anual de este residuo es de aproximadamente 30 millones de toneladas. Su principal uso es para alimentación animal, pero según un estudio publicado por Stojceska y Ainsworth (2008) el bagazo se puede utilizar para la alimentación humana como fuente de fibra dietética (Ktenioudaki et al., 2015).

La necesidad creciente de consumir productos más saludables por parte de los consumidores, además de la prioridad mundial de no desperdiciar alimentos y gestionarlos como subproductos, hace que el bagazo sea una fuerte opción para el consumo humano. El bagazo procedente de la elaboración de la cerveza se basa en los granos de la cebada que son ricos en fibra (Ktenioudaki et al., 2015).

La composición química del bagazo varía dependiendo de la variedad de cebada que ha sido utilizada para la elaboración de cerveza, la temporada de cosecha de la cebada, el proceso, las condiciones de malteado, su trituración y la calidad y el tipo de adjuntos que se le añaden en el proceso de elaboración de la cerveza. Pero en general el bagazo se considera un alimento rico en proteína y fibra, con alrededor de un 20-30 y un 50-70 % respectivamente. Los componentes principales de los tejidos de fibra son la celulosa y la lignina. También se pueden encontrar en el bagazo diferentes minerales y vitaminas. Entre los minerales se puede encontrar contenido de calcio, potasio, hierro, magnesio, sodio, entre otros, todos en concentraciones menores al 0,5 %. Entre las vitaminas se puede encontrar biotina, colina, ácido fólico, niacina, riboflavina, etc. (Mussatto et al., 2006).

En la Tabla 1 se muestra la composición nutricional del bagazo según dos autores diferentes, destacando su contenido en fibra y proteína.

Tabla 1. Composición química del bagazo (Aliyu & Bala, 2011)

Componente	Kanauchi et al. (2001)	Mussatto and Roberto (2006)
<i>Celulosa</i>	25,4	16,8
<i>Arabinoxilano</i>	21,8	28,4
<i>Lignina</i>	11,9	27,8
<i>Proteína</i>	24,0	15,2
<i>Lípidos</i>	10,6	-
<i>Cenizas</i>	2,4	4,6

El segundo subproducto en volumen de generación son las **lías de fermentación**. La levadura, encargada de transformar los azúcares propios de la malta en etanol y CO₂, se añade en pequeñas cantidades en los tanques de fermentación. Durante el proceso se produce una cantidad de levaduras aproximadamente cuatro veces superior a la cantidad introducida y son retiradas de los tanques una vez concluye la fermentación en depósito.

Las levaduras en el proceso de elaboración de la cerveza además de ser las encargadas en convertir los azúcares simples del mosto en etanol y CO₂, también tiene un impacto fundamental en la calidad de la cerveza. Al mismo tiempo, produce otros compuestos (alcoholes superiores, ácidos orgánicos, ésteres, aldehídos, cetonas, compuestos de azufre) que juegan un papel clave en el perfil sensorial de la cerveza (Pinho, Ferreira y Santos, 2006).

Parte de esta levadura obtenida se reutiliza, volviéndola a introducir en los tanques de fermentación para aprovechar al máximo su actividad, normalmente se reutiliza entre 4 y 6 veces, hasta un máximo de 8, pero la mayor parte debe ser gestionada como un subproducto aprovechable en otras industrias. Las opciones de la levadura como subproducto también pasan por la posibilidad de ser utilizada en alimentación del ganado, además de poder servir de materia prima en la industria alimentaria, cosmética y farmacéutica. Aunque su valor en el mercado depende bastante del contenido de humedad de está, siendo mejor cuanto más deshidratada se encuentra la levadura. Este valor también es dependiente del número de veces que se reintroduce en los tanques de fermentación (Ministerio de Medio Ambiente, 2005).

Las lías de fermentación obtenidas del proceso productivo de la cerveza se caracterizan nutricionalmente por ser bajas en calorías, grasas y carbohidratos, aunque, puede ser una fuente valiosa de fibra y principalmente de β-glucanos, que se encuentran presentes en la pared celular de las levaduras, como *Saccharomyces cerevisiae* (Liu, Wang, Cui, & Liu, 2008).

1.6. Uso del bagazo en la alimentación humana

El bagazo se caracteriza por su alto valor nutricional además de por su bajo precio. Muchas veces para utilizar este subproducto como ingrediente alimentario es necesario convertirlo en harina. Una harina elaborada a partir de bagazo, con alto contenido proteico, fue incorporada en productos de panadería, panes, muffins, galletas, tortitas, donuts, brownies, etc. (Huige, 1994; Townsley, 1979). Aunque existen limitaciones en el uso de harina de bagazo, principalmente debido a su color y sabor. El bagazo es de color marrón pardo cuando está húmedo, tal y como se muestra en la Figura 2, el color que aporta el bagazo a los alimentos que lo incorporan puede hacer que el consumidor rechace el producto. Además, debido a que la adición de bagazo supone una alteración del sabor y de las propiedades físicas, como la textura, en los productos finales solo se ha podido incorporar en cantidades pequeñas, entre un 5 y un 10% (Mussatto et al., 2006).



Figura 2. Bagazo húmedo

Según un estudio de Hassona, 1993, basado en la sustitución de un 10% de harina de trigo por harina de bagazo en la elaboración de pan, se observó que al incorporar el bagazo el contenido de fibra y proteína aumentó considerablemente mientras el contenido calórico del pan disminuyó (Ktenioudaki et al., 2015).

Estudios anteriores han mostrado el efecto sobre la calidad de los productos de panadería tras la incorporación de bagazo en su formulación. Principalmente se vio afectado por el alto contenido de fibra del bagazo que provocaba una disminución del volumen, un aumento de la dureza de la miga y una pérdida de la crocancia. Por lo que estos estudios afirman que el principal problema que existe en la incorporación de bagazo en los productos alimentarios es el efecto que provoca en la textura del pan, además del cambio en el sabor. En un estudio que añadía diferentes porcentajes de bagazo a unas galletas la puntuación sensorial global disminuyó considerablemente cuando las galletas tenían más del 15% de bagazo (Kim et al., 2001).

En un estudio basado en la introducción de bagazo en snacks, se determinó que la calidad de estos se veía afectada considerablemente al añadir el bagazo, aunque la adición de un 10% de bagazo dio como resultado snacks con textura y estructura similar a los snacks de referencia que estaban hechos a partir de harina de trigo. Se realizaron pruebas sensoriales, y de estas se dedujo que la introducción de bagazo en los snacks alteraba claramente el perfil aromático. Aunque los resultados obtenidos del análisis

sensorial determinaron que la adición del 10% de bagazo conseguía duplicar el contenido de fibra de los snacks, en comparación con el control, sin perder la aceptación de los consumidores (Ktenioudaki et al., 2013).

En general las características sensoriales de los productos de panadería se modifican al añadir fibra, dando lugar a productos más oscuros, de menor volumen, mayor dureza y una estructura más densa (Ktenioudaki et al., 2015).

Además de los múltiples beneficios de la adición de bagazo a los alimentos, comentados anteriormente, existen problemas relacionados con la adición de este subproducto en forma de harina al pan. La adición de bagazo también afecta a la absorción de agua de la masa, al tiempo de fermentación de la masa, la estabilidad de esta, el grado de ablandamiento, el volumen del pan, el contenido de humedad y el endurecimiento del pan. La suplementación del pan con un compuesto que aporte fibra, como es el bagazo, provoca que disminuya la cantidad de agua disponible para la hidratación del gluten. Afectando también a la capacidad de retención de gas y a la formación de la red de gluten. El estudio concluye diciendo que la cantidad máxima de adición de bagazo al pan es del 30%, pero solo si se añaden enzimas que mejoran el volumen, la textura y la vida útil del pan (Stojceska & Ainsworth, 2008).

1.7. Sustitución de la levadura comercial

En la industria panadera la investigación se centra principalmente en las nuevas tecnologías para conseguir mejorar las propiedades físico-químicas de las masas, aumentar la vida útil de los productos, mejorar el sabor y mejorar la calidad nutricional del pan. El uso de masas madre para la elaboración de pan ha aumentado para satisfacer las demandas de los consumidores que se basan en la utilización de tecnologías naturales y procesos tradicionales (Plessas, Trantallidi, Bekatorou, & Kanellaki, 2007).

La masa madre es una mezcla de harina y agua que contiene levaduras y bacterias ácido lácticas, que se utiliza como cultivo inicial para la levadura del pan. El uso de una masa ya fermentada, masa madre, tiene ventajas en panadería, principalmente el desarrollo de un sabor característico. Otro beneficio de la utilización de masa madre para la elaboración de productos de panadería, es el aumento del tiempo de conservación del producto a través de la producción de compuestos antimicrobianos (Katina, Sauri, Alakomi y Mattila-Sandholm, 2002; Messens & De Vuyst, 2002).

El kéfir es un producto lácteo fermentado, en el están presentes muchos microorganismos, que establecen relaciones simbióticas. Entre estos microorganismos están levaduras como *Saccharomyces* sp., también lactobacilos, estreptococos, lactococos y ocasionalmente bacterias acéticas (Simova et al., 2002).

Se han realizado estudios usando el kéfir en lugar de levadura comercial de panadería para elaborar masas madre (Plessas, Pherson, Bekatorou, Nigam & Koutinas, 2005), el resultado era un pan de elevada calidad, similar al pan de masa madre tradicional. Los panes producidos con kéfir obtuvieron mejores resultados físico-químicos, conservaban mejor la humedad, la textura era más firme, el sabor era superior (según la evaluación de consumidores) y el pan se conservaba fresco durante un mayor tiempo, comparado con el pan de levadura comercial (Plessas et al., 2007).

Se llevaron a cabo ensayos de panificación con sus posteriores análisis, basados en la utilización de las levaduras que normalmente se utilizan para elaborar cerveza, como agente fermentativo para el pan. Concluyendo que las cepas de levadura estudiadas tienen poder para conseguir que el pan fermente. Pudiéndolas utilizar como una herramienta para modificar las características del pan (Heitmann, Zannini, & Arendt, 2015).

En cuanto a la utilización de las lías de fermentación como agente fermentativo para la elaboración de pan, no se han encontrado referencias bibliográficas.

2. OBJETIVO

El objetivo general del proyecto es la caracterización del proceso de elaboración de pan de molde, en el que se incorporan los dos principales subproductos generados en la elaboración de la cerveza, el bagazo y las lías de fermentación.

Los objetivos específicos del proyecto consistirán en:

Sustituir la levadura prensada utilizada en la elaboración de pan comercial por las lías de fermentación obtenidas tras la elaboración de la cerveza, definiendo la forma de adición de estas al pan (directa, masa madre), además de la cantidad a adicionar.

Incorporar al pan como ingrediente el bagazo que se recoge tras la maceración de la cerveza en forma de harina. Obteniendo así un pan con unas características físico-químicas, sensoriales y nutricionales adecuadas.

Con todo lo anterior se busca obtener un producto basado en la reutilización de los subproductos de la industria cervecera, consiguiendo un nuevo producto con características nutricionales mejoradas, destacando su aporte de fibra.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materiales

Para la realización del proyecto se necesitan los siguientes materiales, divididos en materias primas para la preparación de los panes, maquinaria y materiales auxiliares para su elaboración y análisis físico químicos.

3.1.1. Materias primas básicas

- Harina de trigo Lagun especial (Harinas Guria), en las Tablas 2 y 3 aparecen las propiedades principales de la harina utilizada.

Tabla 2. Propiedades físico químicas harina lagun especial

Humedad	Proteína	Gluten húmedo	Gluten seco	Índice caída
14,2	13,1	31,48	10,92	416

Tabla 3. Propiedades reológicas harina lagun especial

Alveograma	P	L	W	P/L	Le	G
28 min	118	71	340	1,65	0,64	18,8

- Sal común
- Azúcar
- Margarina, Holland
- Levadura fresca prensada, Hercules
- Agua (destilada y de red)

Los dos ingredientes más importantes eran los subproductos generados tras la elaboración de la cerveza, el bagazo y las lías de fermentación. Estos subproductos se obtuvieron de la elaboración de cerveza Ale a nivel de planta piloto y se acondicionaron para su uso.

También se realizaron los ensayos de panificación con la incorporación de los subproductos obtenidos de la elaboración de cerveza Lager, estos resultados se pueden encontrar en el Anejo I.

3.1.2. Bagazo

Tras la búsqueda bibliográfica se determinó que se podía añadir al pan hasta un 15% de harina de bagazo, por lo que se estableció este valor como fijo para la incorporación de bagazo al pan.

El bagazo se recogió del proceso de elaboración de la cerveza con una elevada humedad, 72 %, por lo que fue necesario someterlo a un proceso de secado, este se realizó en un

armario a 60 °C durante 10 horas. Una vez seco se envasó para asegurar su conservación hasta su uso. Con el objetivo de convertirlo en harina para incorporarlo a la masa panaria, fue necesario someterlo a un proceso de triturado hasta conseguir la granulometría requerida. Se pesaron 105 gramos de bazo seco, siempre se pesó la misma cantidad de bagazo para que el tamaño de partícula al que se redujo fuera el mismo, se introdujo en la Thermomix durante 30 segundos a la velocidad 8, como se puede observar en Figura 3.



Figura 3. Acondicionamiento de bagazo

En la Tabla 4 se recogen los porcentajes nutricionales de la harina de bagazo.

Tabla 4. Caracterización de la harina de bagazo

Grasa (%)	Proteína (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)
5,18	24,09	3,13	1,95

3.1.3. Lías de fermentación

En el caso de las lías de fermentación, se obtienen tras la fermentación de la cerveza en depósito y antes de embotellar. Para facilitar la extracción se homogenizaron las levaduras que se quedan en el fondo del depósito, con una pequeña cantidad de cerveza, se extrajo la mezcla del depósito y se dejó decantar consiguiendo la separación de las dos fases, para poder retirar el exceso de cerveza. Las lías se envasaron y fueron almacenadas en refrigeración hasta su uso, tal y como aparece reflejado en la Figura 4. La humedad de las lías de fermentación fue del 65 %.



Figura 4. Acondicionamiento de las lías de fermentación

En la Tabla 5 se representa la carga de las levaduras en los 7 primeros días después de su extracción tras la fermentación, además de una media de todos los días en los cuales se estableció que la carga no era significativamente diferente. A partir del día 12 la carga de levaduras de las lías de fermentación disminuía significativamente, por lo que se determinó que las lías tenían una vida útil de 7 días.

Tabla 5. Carga de las lías de fermentación (log ufc/g) a lo largo del tiempo

DÍA 0	DÍA 5	DÍA 7	MEDIA
8,94 ± 0,17	8,98 ± 0,31	8,68 ± 0,26	8,87 ± 0,16

3.1.4. Maquinaria

- Amasadora, BATIDORA-MEZCLADORA C/BOL “PROFESIONAL”, LACOR
- Thermomix TM5, VORWERK
- Cámara climática, WEISS TECHNIK
- Horno, SCC 61, RATIONAL

3.1.5. Equipos de análisis y materiales auxiliares

- Barquetas
- Balanza
- Tijeras, cuchillos
- Rodillo amasador
- Moldes
- Cortadora rotatoria
- Digieye, VeriVide
- Texturómetro, TA.XT.PLUS (Stable Micro Systems – TextureAnalyser, Aname), con accesorio cilíndrico de aluminio de 36 mm (P/36R)
- Batidora
- Vasos de precipitado
- Probeta
- pH-metro (Crison)
- Bureta
- NaOH 0,1N

3.2. Pan de referencia

En la Figura 5, se presenta el diagrama de flujo general que se sigue en la elaboración del pan.

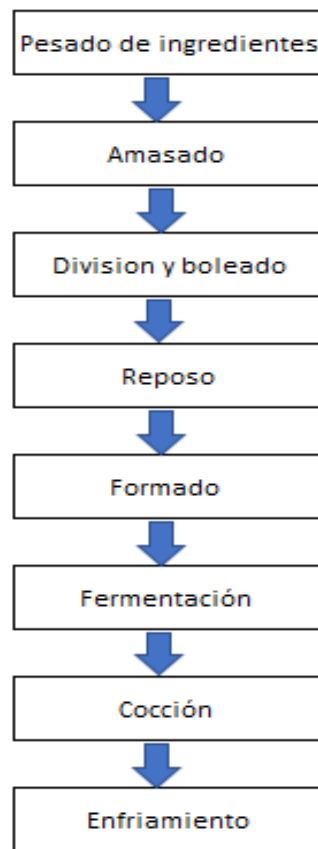


Figura 5. Diagrama de flujo de elaboración del pan

En la Figura 6 se puede observar los principales equipos necesarios para la elaboración del pan. En la Figura 7 se observa el diagrama completo de equipos.



Figura 6. Principales equipos para la elaboración de pan, amasadora, cámara climática y horno

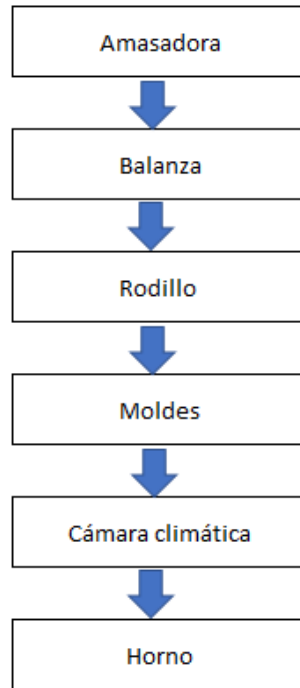


Figura 7. Diagrama de máquinas en la elaboración del pan

Condiciones de proceso

Amasado → 2 minutos a velocidad lenta

→ 3 minutos a velocidad rápida

División → panes de 400 gramos aproximadamente

Reposo → 15 minutos

Fermentación → 70 minutos a 26°C y 72% HR

Cocción → 20 minutos a 180°C

Enfriamiento → 2 horas

Se partió de estas condiciones para los primeros ensayos de panificación, aunque basándose en las características requeridas para el pan y el cambio de maquinaria fueron modificadas. Tanto las condiciones como la formulación de partida.

Se comenzó con la siguiente formulación basada en el trabajo realizado en la asignatura diseño y desarrollo de alimentos, esta se puede encontrar en la Tabla 6. Los ingredientes se presentan en porcentajes con respecto a la harina.

Tabla 6. Formulación inicial pan de referencia

Ingredientes	Proporción
Harina	100
Agua	75
Sal	2
Levadura prensada	3
Margarina	2
Azúcar	3
Leche en polvo	5

Las pruebas se realizaron con 700 gramos de harina de trigo. Una vez realizados los primeros ensayos se decidió modificar la receta de pan inicial, eliminando el contenido de leche en polvo, disminuyendo la cantidad de agua de la masa para conseguir que esta fuera mas manejable y aumentando el contenido en levadura, fijando una formulación para el pan de referencia que se puede encontrar en la Tabla 7. Los ingredientes se expresan en porcentajes en base a la harina.

Tabla 7. Formulación final pan control

Ingredientes	Proporción
Harina	100
Agua	64
Sal	2
Levadura prensada	4
Margarina	2
Azúcar	3

También fue necesario modificar las condiciones del proceso de elaboración del pan, ya que se cambiaron algunos de los equipos, quedando de la siguiente manera:

Condiciones de proceso

Amasado → 1 minutos a velocidad lenta

→ 6 minutos a velocidad rápida

División → panes de 400 gramos aproximadamente

Reposo → 15 minutos

Fermentación → 70 minutos a 30°C y 80% HR

Cocción → 30 minutos a 190°C (los primeros 5 minutos con inyección de vapor)

Enfriamiento → 2 horas

3.3. Ensayos de elaboración de masa madre.

Una forma de adicionar el agente fermentativo a la masa es elaborando masa madre, para ello se realizaron previamente ensayos de velocidad de crecimiento de la masa para determinar el tiempo de prefermentación que necesitaba esta antes de poder ser adicionada.

Teniendo en cuenta que se necesita una masa madre que tenga un alto poder fermentativo y que el producto debe incorporar el mayor contenido de subproductos, pero a su vez, tanto desde el punto de vista físico químico como sensorial, se debe adaptar a lo requerido, pareciéndose lo máximo posible al pan control. Se realizaron los ensayos para tres variedades diferentes de masa madre:

1. Masa madre de harina de trigo, elaborada únicamente a partir de harina de trigo, agua y lías de fermentación tal y como aparece reflejado en la Tabla 8.

Tabla 8. Proporciones masa madre de harina de trigo

Harina de trigo	Lías de fermentación	Agua
2	2	1
40 %	40 %	20 %

2. Masa madre de harina de trigo y bagazo, además de la harina de trigo lleva harina de bagazo en su composición. Pudiendo ver las proporciones de cada ingrediente en la Tabla 9.

Tabla 9. Proporciones masa madre elaborada a partir de harina de trigo y bagazo

Harina de trigo	Bagazo	Lías de fermentación	Agua
2	1	1	4
25 %	15,5 %	12,5 %	50 %

3. Masa madre de harina de bagazo, únicamente está elaborada a partir de harina de bagazo, agua y las lías de fermentación. Tal y como aparece indicado en la Tabla 10.

Tabla 10. Proporciones de masa madre elaborada a partir de harina de bagazo

Bagazo	Lías de fermentación	Agua
1	1	2
25 %	25 %	50 %

Se introdujo en las probetas cierta cantidad de las masas madre y se realizó un control de volumen a lo largo del tiempo. Cada 10 minutos se midió el volumen de la masa. La temperatura a la que se encontraban las masas era 20 °C.

3.4. Ensayos de panificación

Se realizaron ensayos de panificación sustituyendo la levadura comercial prensada, con o sin incorporación de bagazo, tal y como se presenta en la Tabla 11.

Para empezar, se incorporaron las lías de fermentación en fresco a la masa, se partió con una proporción de 20 % de estas, aunque en base a los resultados, se decidió aumentar esta concentración hasta un 25 %. Otra forma de adicionar las lías es realizando previamente masa madre de harina de trigo, los porcentajes de adición fueron 25 y 50 %.

La incorporación de bagazo se realizó de dos formas diferentes, incorporando un 15 % de harina de bagazo en la formulación o utilizando como agente fermentativo masa madre elaborada a partir de harina de trigo y bagazo. Los porcentajes de adición de masa madre fueron los mismos que en el caso de la masa madre elaborada a partir de trigo, 25 y 50 %.

También se combinaron las dos formas de incorporar el bagazo al pan, realizando ensayos incorporando un 15 % de bagazo y utilizando como fermento la masa madre de trigo y bagazo con dos porcentajes diferentes, 25 y 50 %.

Tabla 11. Ensayos de panificación

Ensayo	Harina de trigo	Harina de bagazo	Lías de fermentación	Masa madre de trigo	Masa madre de trigo y bagazo
LF20	100	-	20	-	-
LF25	100	-	25	-	-
MMT25	100	-	-	25	-
MMT50	100	-	-	50	-
B15_MMT25	85	15	-	25	-
B15_MMT50	85	15	-	50	-
MMTB25	100	-	-	-	25
MMTB50	100	-	-	-	50
B15_MMTB25	85	15	-	-	25
B15_MMTB50	85	15	-	-	50

Para cada ensayo se elaboraron 3 panes.

Todos los panes de los ensayos de panificación se caracterizaron físico químicamente.

3.5. Análisis físico-químicos del pan

Procedimientos seguidos en la caracterización de los panes.

3.5.1. Volumen y dimensiones

En primer lugar, fue necesario conocer el volumen, para ello se utilizó el método de desplazamiento de semillas de colza. El resultado se expresa en mL.

Además, fue necesario conocer la altura del pan en los tres puntos principales, el centro y los dos extremos, para lo que se utilizó un calibre. Las alturas se expresan en cm.

Se realizó una medida por cada pan elaborado.

3.5.2. Firmeza

Con la ayuda de una cortadora rotatoria se cortaron rebanadas de 12 mm de espesor alrededor de la zona media del pan, al menos 5 rebanadas, una como base y las otras 4 para medir la firmeza. Estas se colocan en el texturómetro TA.XT.PLUS (Stable Micro Systems – TextureAnalyzer Aname), con accesorio cilíndrico de aluminio de 36 mm (P/36R), este se puede ver en la Figura 8, una rebanada que sirve de base y otra encima, de la cual se toma la medida. El ensayo consiste en medir la fuerza en compresión en el centro de la rebanada. El accesorio de aluminio debe comprimir en un 40% la rebanada a una velocidad de 1,7 mm/s. El método establece que la firmeza del pan es la fuerza ejercida para alcanzar un 25% de compresión (A.E. Baker, C.E. Walker, s. f.). Los resultados de este análisis se expresan en g.



Figura 8. Texturómetro TA.XT.PLUS

De cada pan se realizaron 4 medidas de firmeza. Por lo tanto, de cada elaboración se obtuvieron $4 \times 3 = 12$ medidas.

3.5.3. Color

Para la determinación de color de los panes se midieron las coordenadas L^* , a^* , b^* , mediante el sistema DigiEye versión 6.2, el cual cuenta con una cámara digital, este equipo se puede ver en la Figura 10. El equipo captura y mide digitalmente el color. Se introduce en el digiEye 4 rebanadas de 12 mm de espesor, se toma la foto. Posteriormente se selecciona el área del que se quiere conocer el color y el software devuelve una media de los valores de todos los pixeles seleccionados.

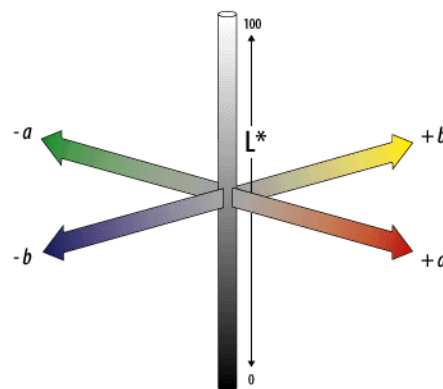


Figura 9. Espacio tridimensional CIELAB

El espacio CIELAB, Figura 8, permite especificar estímulos de color en un espacio tridimensional. El eje L^* va de 0 (negro) a 100 (blanco). Los otros dos ejes de coordenadas son a^* y b^* .

En el caso del producto estudiado, el pan, los ejes que interesan para poder caracterizarlos son L^* y a^*

Para cada formulación se estudian 4 rebanadas de cada repetición, en total tres panes. Por lo que se obtienen 12 medidas de cada formulación.



Figura 10. DigiEye, VeriVide

3.5.4. pH y acidez

Antes de medir estos parámetros fue necesario preparar las muestras, se pesó 10 g de miga de pan, se les añadió 100 mL de agua destilada y se homogenizó con una batidora. Todos los análisis se realizaron por triplicado, por lo que para cada pan había que preparar 3 muestras, es decir, 9 medidas por formulación.

Primero se midió el pH directamente de las muestras con un pH-metro (Crison). Después para conocer la acidez titulable de la muestra se añadió progresivamente, con la ayuda de una bureta, NaOH 0,1N hasta alcanzar un pH mayor a 8,5. La acidez se expresa como mL de NaOH (Ktenioudaki et al., 2015).

3.6. Análisis estadísticos

El tratamiento estadístico de los datos se realizó a través del programa STATGRAPHICS Centurion XVI. Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para un nivel de significación del 95%. Las diferencias entre muestras se realizaron a través del test de Tukey.

Además, a partir de los valores medios obtenidos para cada una de las formulaciones se aplicó un análisis de correlaciones lineales y un análisis de componentes principales.

4. RESULTADOS

4.1. Características del pan de referencia

Tras realizar tres elaboraciones diferentes, y caracterizar los panes resultantes, los valores de los análisis físico-químicos del pan de referencia son los que aparecen en la Tabla 12.

Tabla 12. Características físico-químicas del pan control

ALTURA CENTRO (cm)	8,47 ± 0,51
ALTURA EXTREMO 1 (cm)	7,87 ± 0,4
ALTURA EXTREMO 2 (cm)	8 ± 0,46
VOLUMEN (cm³)	1316,67 ± 125,83
pH	5,61 ± 0,12
ACIDEZ (mL)	2,17 ± 0,14
FIRMEZA (g)	237,51 ± 39,37
L*	79,27 ± 0,52
a*	3,64 ± 0,17
b*	23,1 ± 0,37



Figura 11. Pan de referencia

Como se puede observar en la Figura 11, el pan de control se trata de un pan de molde de 400 g con un volumen medio, con gran cantidad de alveolos en la miga, lo que hace que la miga sea esponjosa y suave.

Este pan se elaboró y caracterizó para comparar los resultados de los siguientes ensayos con él. Ya que el objetivo es encontrar una formulación, que aunque diferente, sea lo más parecido posible al control. Sobre todo, en cuanto a volumen y firmeza ya que los demás parámetros, color, sabor, aroma... es inevitable que cambien al añadir cualquiera de los dos subproductos.

A partir de estos análisis realizados se compararán todos los demás ensayos de panificación, elaborando grupos de características homogéneas, con el objetivo de conseguir formulaciones lo más parecidas a la referencia.

4.2. Masa madre

Se estableció como criterio que la masa madre debía de duplicar su tamaño para poder añadirla al pan y conseguir una fermentación adecuada.

Tras realizar el ensayo de crecimiento de la masa madre se recogieron los valores de volumen de las diferentes masas madre estudiadas a lo largo del tiempo, como se puede observar en la Figura 12.

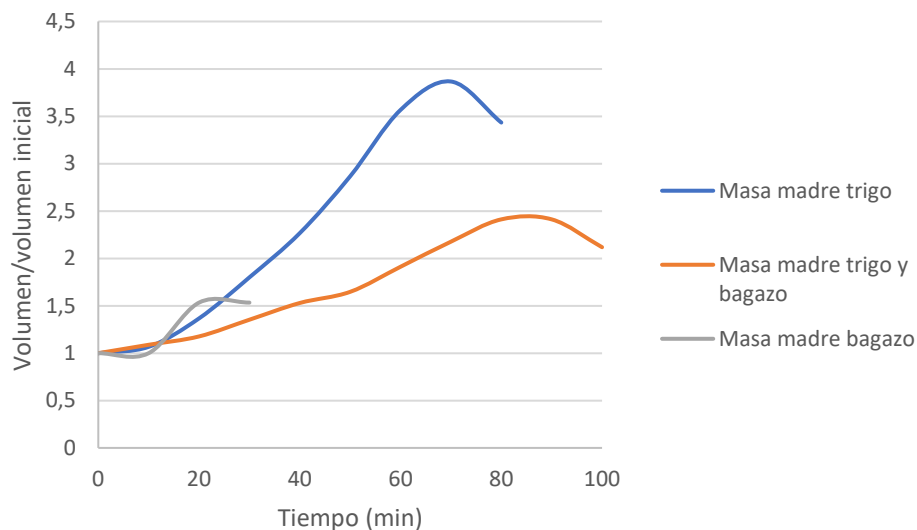


Figura 12. Relación Volumen/volumen inicial de las masas madres a lo largo del ensayo de crecimiento.

1. Masa madre de harina de trigo:

La masa madre de trigo alcanzó el doble del volumen inicial a los 40 minutos de fermentación.

En la Figura 13 se puede observar las medidas realizadas cada 10 minutos y el progreso de crecimiento de la masa madre durante el ensayo.

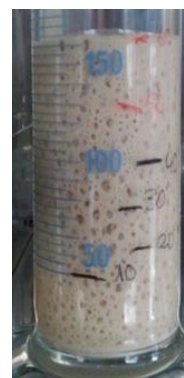


Figura 13. Ensayo velocidad de crecimiento masa madre de trigo

Pasado el tiempo establecido, la masa, al menos ha duplicado su tamaño, y las levaduras presentes en la masa están muy activas, tal y como se puede ver en la Figura 14, en la cual se aprecian las burbujas de aire que se forman en la masa madre a causa de la fermentación alcohólica que se está dando. Las levaduras están metabolizando los azúcares que se encontraban en la masa para producir alcohol etílico y CO_2 . El anhídrido carbónico se queda atrapado en la red de gluten provocando que el volumen de la masa aumente y se formen las burbujas que se pueden ver en la imagen.



Figura 14. Masa madre de trigo tras 30 minutos de prefermentación

2. Masa madre de harina de trigo y bagazo:

Como se puede observar en la Figura 15 esta masa madre alcanzó el volumen requerido a los 60 minutos de fermentación.

En este caso, el tiempo de espera hasta poder utilizar la masa madre, fue superior al preciso en la masa madre de trigo. Al añadir bagazo fue necesario incorporar una mayor cantidad de agua, por lo que las levaduras se encontraban más diluidas que en el caso anterior.



Figura 15. Ensayo de velocidad de crecimiento masa madre de trigo y bagazo

3. Masa madre de harina de bagazo:

Esta variedad de masa madre no logró el objetivo marcado, conseguir duplicar su volumen. Por ello se descartó la posibilidad de utilizarla como agente fermentativo.

En la Figura 16 se puede ver que la masa madre apenas creció durante el ensayo de velocidad. Esto muy posiblemente se debió a que la ausencia total de harina de trigo, y por lo tanto de gluten, impidió retener, ni siquiera parcialmente el CO₂ generado debido a la actividad de las levaduras.



Figura 16. Ensayo de velocidad de crecimiento masa madre de bagazo

En base a estos resultados, se tomó la decisión de descartar el uso de masas madre elaboradas exclusivamente con harina de bagazo en los ensayos posteriores de elaboración de pan.

4.3. Ensayos de panificación

4.3.1. Ensayos de sustitución de levadura de panificación sin incorporación de bagazo
Los ensayos consistieron en la sustitución de la levadura prensada que se usa normalmente en panificación por las lías de fermentación de forma directa. La primera prueba de panificación consistió en elaborar la receta que se muestra en la Tabla 13.

Tabla 13. Formulación de pan elaborado a partir de 20% de lías de fermentación en fresco

Ingredientes	Proporción
<i>Harina</i>	100
<i>Agua</i>	50
<i>Sal</i>	2
<i>Lías de fermentación</i>	20
<i>Margarina</i>	2
<i>Azúcar</i>	3

Tras el ensayo anterior se determinó la necesidad de añadir mayor cantidad de lías de fermentación ya que la carga de levaduras no fue la adecuada y el volumen del pan resultante no llegó a ser suficiente. Por lo que se repitió añadiendo un 25 % de lías de fermentación frescas. Modificando la receta anterior de la forma que se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14. Formulación de pan elaborado a partir de 25% de lías de fermentación en fresco

Ingredientes	Proporción
<i>Harina</i>	100
<i>Agua</i>	50
<i>Sal</i>	2
<i>Lías de fermentación</i>	25
<i>Margarina</i>	2
<i>Azúcar</i>	3

Para reducir el amargor que aportan las lías de fermentación a la masa se decidió incorporar este ingrediente en forma de masa madre y además conseguir un aumento del volumen del pan, ya que las levaduras se encuentran activas al añadirlas al pan, gracias al proceso anterior de prefermentación.

Primero se realizaron ensayos con la masa madre de trigo a dos concentraciones diferentes, al 25 % y al 50 %, reflejadas en la Tabla 15.

Tabla 15. Formulaciones de pan elaborado a partir de masa madre de trigo

Ingredientes	MMT25	MMT50
Harina	100	100
Agua	50	50
Sal	2	2
Masa madre de trigo	25	50
Margarina	2	2
Azúcar	3	3

En la Tabla 16 se muestran los resultados de los análisis de altura, pH, acidez y los parámetros de color, realizados a los panes de los ensayos que sustituyen la levadura comercial prensada por las lías de fermentación en fresco y la masa madre de trigo, elaborada a partir de la levadura proveniente del proceso de elaboración de la cerveza.

Tabla 16. Análisis físico-químicos de las formulaciones de lías de fermentación en fresco y masa madre de trigo

	CONTROL	LF20	LF25	MMT25	MMT50
ALTURA CENTRO (cm)	8,47 ± 0,51 ^a	6,6 ± 0,08 ^b	6,5 ± 0,56 ^b	7,13 ± 0,38 ^{bc}	8,00 ± 0,17 ^{ac}
ALTURA EXTREMO 1 (cm)	7,87 ± 0,4 ^a	6,13 ± 0,05 ^b	5,6 ± 0,3 ^{bc}	6,80 ± 0,17 ^{cd}	7,20 ± 0,26 ^d
ALTURA EXTREMO 2 (cm)	8 ± 0,46 ^a	5,4 ± 0,14 ^{bc}	5,8 ± 0,35 ^b	6,50 ± 0,17 ^{cd}	7,07 ± 0,4 ^{ad}
pH	5,61 ± 0,12 ^a	5,72 ± 0,16 ^a	5,61 ± 0,08 ^a	5,73 ± 0,13 ^a	5,72 ± 0,07 ^a
ACIDEZ (mL)	2,17 ± 0,14 ^a	3,88 ± 0,15 ^b	2,48 ± 0,13 ^c	2,75 ± 0,16 ^d	2,68 ± 0,2 ^{cd}
L*	79,27 ± 0,52 ^a	75,54 ± 0,71 ^b	72,25 ± 0,54 ^c	78,18 ± 0,25 ^d	72,87 ± 0,44 ^e
a*	3,64 ± 0,17 ^a	6,18 ± 0,54 ^b	7,15 ± 0,24 ^c	4,80 ± 0,14 ^d	5,49 ± 0,18 ^e
b*	23,1 ± 0,37 ^a	21,47 ± 0,41 ^b	22,7 ± 0,43 ^a	20,63 ± 0,36 ^c	21,66 ± 0,39 ^b

Al aumentar el contenido tanto de lías de fermentación como de masa madre se observó que el parámetro L* disminuyó, por lo que se pudo intuir que, al añadir la levadura de la cerveza, directamente o en forma de masa madre, el pan resultante se oscurece. En el caso del parámetro a*, que representa la tonalidad marrón del pan, aumentó al incorporar mayor cantidad de agente fermentativo.

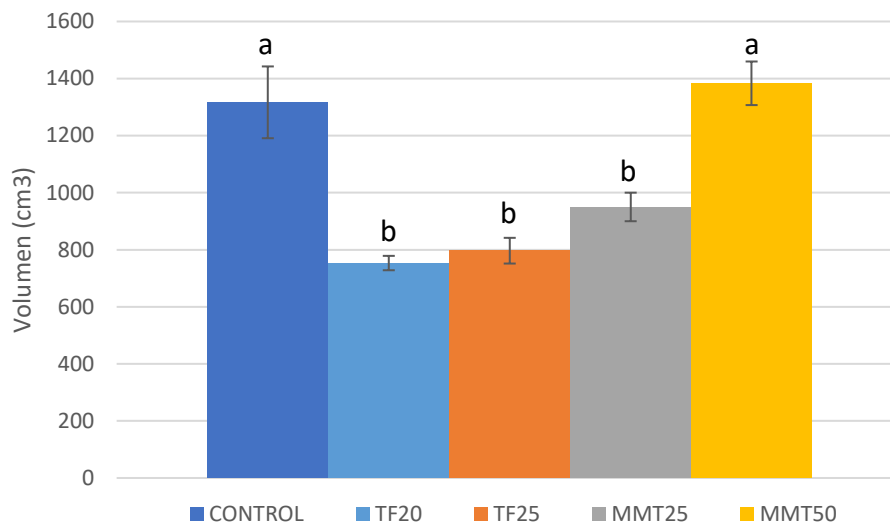


Figura 17. Volumen de los panes a los que se les ha sustituido la levadura por lías de fermentación (frescas o en masa madre)

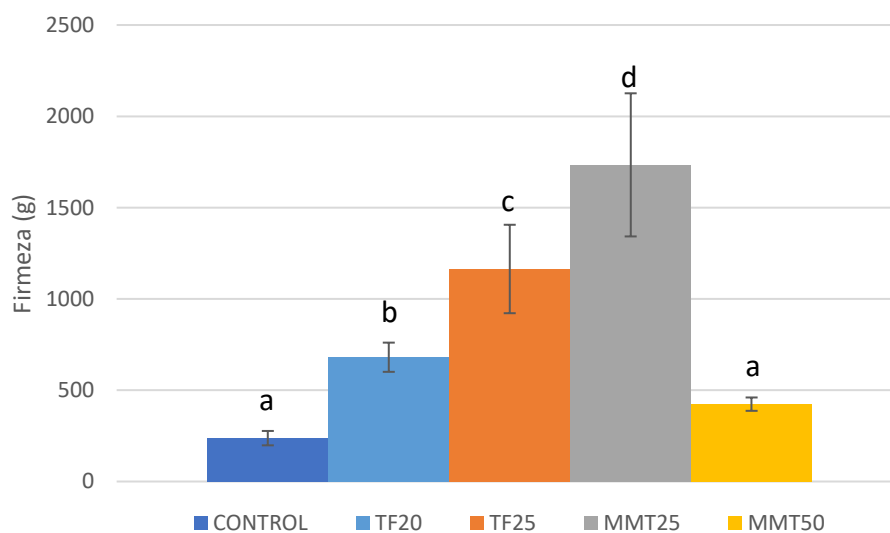


Figura 18. Firmeza de los panes a los que se les ha sustituido la levadura por lías de fermentación (frescas o en masa madre)

Basándose en el volumen del pan, Figura 17, se vio como al aumentar el contenido de lías de fermentación de 20 a 25 % este aumentó ligeramente, aunque no se llegó a conseguir un volumen suficiente, similar al pan de referencia.

Por ese motivo, además de por el excesivo amargor que dejó el pan al degustarlo, se decidió cambiar el método de adición de las levaduras, en vez de añadir las directamente a la masa, se decidió elaborar previamente una masa madre, en la cual las levaduras comenzaron su actividad fermentativa y estaban más activas cuando se adicionaron al

pan. Otra función de la masa madre es reducir el amargor propio de las lías de fermentación, además de aportar sabores y aromas característicos.

El primer ensayo con la masa madre se realizó añadiendo 25 % de masa elaborada a partir de harina de trigo, la misma cantidad que de lías de fermentación en fresco. A partir de este cambio se vio que el volumen aumentó, tal y como se observa en la Figura 17, aunque la concentración de levaduras era menor que en el caso del 25 % de lías de fermentación en fresco se consiguió un volumen mayor. Sin embargo, aún no se alcanzó el volumen del pan de referencia. El sabor amargo disminuyó considerablemente al añadir la masa madre, solo existía el amargor en el sabor residual en la boca una vez degustado el pan.

Para poder aumentar considerablemente el volumen del pan se añadió 50 % de masa madre consiguiendo así un pan de volumen significativamente igual al de referencia, Figura 17. La textura también disminuyó alcanzando el nivel del pan control sin encontrar diferencias significativas, Figura 18. El amargor del pan aumentó por el alto contenido en lías de fermentación, aunque sin llegar a ser desagradable desde el punto de vista organoléptico.



Figura 19. Imágenes tomadas por el DigiEye de los panes a los que se les ha sustituido la levadura por lías de fermentación (directamente o en masa madre)

En la Figura 19 se pueden ver las fotos tomadas con el DigiEye de los diferentes ensayos de panificación sustituyendo la levadura prensada comercial por las levaduras obtenidas tras el proceso de fermentación de la cerveza.

En resumen, al aumentar el contenido tanto de lías de fermentación en fresco, como de masa madre el volumen aumentó significativamente y la firmeza de la miga disminuyó.

Al añadir masa madre de trigo que ha sufrido una etapa de prefermentación en la que las levaduras se han activado, los resultados obtenidos en cuanto a volumen y a firmeza, mejoraron consiguiendo valores pertenecientes al mismo grupo homogéneo que el pan control, cuando se añadió 50 % de masa madre.

4.3.2. Ensayos combinando la sustitución de levadura y la incorporación de bagazo
El bagazo se incorporó a la masa panaria de dos formas, la primera añadiendo el 15% de este en forma de harina, y la segunda elaborando una masa madre a partir de harina de bagazo.

4.3.2.1. Incorporación de 15 % de harina de bagazo

Una vez descartada la idea inicial de añadir las lías de fermentación en fresco directamente a la masa, por no conseguir un volumen satisfactorio además de obtener un pan con excesivo amargor. Se realizaron los ensayos incorporando un 15 % de bagazo, ya que se determinó que con este porcentaje de adición se conseguía un producto con características nutricionales mejoradas con respecto al contenido en fibra, sin modificar el volumen en exceso, y con dos porcentajes diferentes de adición de masa madre de trigo, 25 % y 50 %, como se puede observar en la Tabla 17.

Tabla 17. Formulaciones con masa madre de trigo e incorporación de 15% de bagazo

Ingredientes	B15_MMT25	B15_MMT50
<i>Harina</i>	100	100
• <i>Trigo</i>	• 85	• 85
• <i>Bagazo</i>	• 15	• 15
<i>Agua</i>	57	57
<i>Sal</i>	2	2
<i>Masa madre de trigo</i>	25	50
<i>Margarina</i>	2	2
<i>Azúcar</i>	3	3

Tabla 18. Características físico-químicas tras la incorporación de un 15% de bagazo

	Control	B15_MMT25	B15_MMT50
ALTURA CENTRO (cm)	8,47 ± 0,51 ^a	6,7 ± 0,2 ^b	7,3 ± 0,3 ^b
ALTURA EXTREMO 1 (cm)	7,87 ± 0,4 ^a	5,77 ± 0,29 ^b	6,77 ± 0,64 ^{ab}
ALTURA EXTREMO 2 (cm)	8 ± 0,46 ^a	6,13 ± 0,45 ^b	6,9 ± 0,7 ^{ab}
pH	5,61 ± 0,12 ^a	5,73 ± 0,07 ^b	5,68 ± 0,08 ^{ab}
ACIDEZ (mL)	2,17 ± 0,14 ^a	2,26 ± 0,15 ^a	2,11 ± 0,12 ^a
L*	79,27 ± 0,52 ^a	61,17 ± 0,24 ^b	55,52 ± 0,85 ^c
a*	3,64 ± 0,17 ^a	7,65 ± 0,16 ^b	8,05 ± 0,21 ^c
b*	23,1 ± 0,37 ^a	22,66 ± 0,14 ^b	23,01 ± 0,36 ^a

El parámetro L*, que se refiere a la luminosidad del pan, disminuye considerablemente con respecto al pan control al añadir harina de bagazo al 15 %, y en mayor medida cuando se añade 50 % de masa madre que cuando se añada un 25 %, tal y como aparece en la Tabla 18.

En cuanto al parámetro a*, ocurre lo contrario, aumenta mucho al añadir la harina de bagazo, y también al aumentar el contenido de masa madre. Mayores valores positivos de a* indican un aumento del color rojo (marrón).

Con esto se puede suponer que la adición de bagazo en forma de harina hace que el pan se torne más oscuro y marrón, y esto se intensifica ligeramente al aumentar la proporción de masa madre.

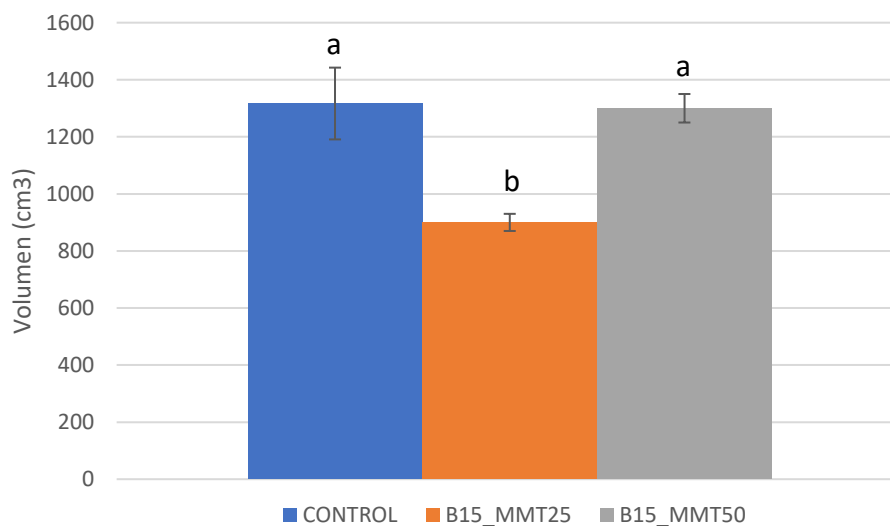


Figura 20. Volumen de los ensayos de panificación incorporando 15% de bagazo

Con la incorporación de un 25 % de masa madre se obtiene como resultado un pan con bajo volumen, pero esto se soluciona al añadir el 50 % de masa madre, consiguiendo así un pan significativamente similar al pan de referencia, tal y como aparece reflejado en la Figura 20.

Estos resultados concuerdan con el estudio elaborado por Kim et al., 2001, que aseguraba que se podía añadir hasta un 15 % de harina de bagazo a productos de panadería, sin que sus características físico químicas sufrieran grandes modificaciones. Además, evitando que se viera afectada la aceptación del pan por el consumidor.

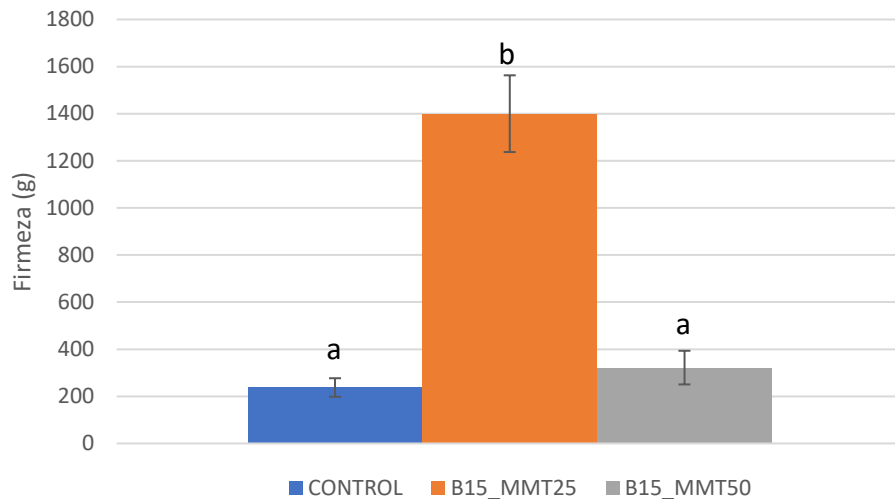


Figura 21. Firmeza de los ensayos realizados a partir de 15% de bagazo

En cuanto a la firmeza del pan, Figura 21, sigue la misma tendencia, al aumentar la cantidad de masa madre que se adiciona al 50 %, la firmeza de la miga disminuye. Dando lugar a un pan clasificado en el mismo grupo homogéneo que el de referencia.

En la Figura 22 se muestran las imágenes de los ensayos con la incorporación del 15 % de bagazo. En el caso de los panes a los que se les incorpora un 50 % de masa madre se puede observar una miga suave, con alveolos y un volumen característico del pan. Sin embargo, el que tan solo contiene un 25 % de masa madre, no ha adquirido el suficiente volumen y se puede ver una miga más compacta.



Figura 22. Imágenes ensayos de panificación con incorporación de 15% de bagazo

4.3.3. Masa madre de trigo y bagazo

Otra forma de introducir bagazo al pan es utilizando la masa madre elaborada a partir de una mezcla de harinas, de trigo y de bagazo, para comprobar su viabilidad como agente fermentativo se realizaron pruebas con esta masa madre. Estos ensayos se hicieron con los dos porcentajes principales de adición de masa madre. Además de realizarlo con el 100 % de harina de trigo también se repitieron con la adición del 15% de harina de bagazo. Las formulaciones realizadas se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Formulaciones elaboradas a partir de masa madre de trigo y bagazo, con y sin el 15% de incorporación de bagazo

Ingredientes	MMTB25	MMTB50	B15_MMTB25	B15_MMTB50
<i>Harina</i>	100	100	100	100
• <i>Trigo</i>	100	100	• 85	• 85
• <i>Bagazo</i>			• 15	• 15
<i>Agua</i>	50	55	56	62
<i>Sal</i>	2	2	2	2
<i>Masa madre de trigo y bagazo</i>	25	50	25	50
<i>Margarina</i>	2	2	2	2
<i>Azúcar</i>	3	3	3	3

En la Tabla 20 aparecen los resultados de los análisis fisicoquímicos de los ensayos de panificación realizados a partir de harina de trigo y bagazo, con o sin incorporación del 15 % de harina de bagazo.

Se puede ver como varia la cantidad de agua añadida a la masa en las diferentes formulaciones, esto se debe a que el bagazo absorbe mucha agua. Por lo que al aumentar el contenido de masa madre, que contiene bagazo, también es necesario aumentar el porcentaje de adición de agua. Por esta misma razón la cantidad de agua necesaria aumentó cuando se añadió a la masa 15 % de harina de trigo.

Tabla 20. Parámetros fisicoquímicos de los panes elaborados a partir de masa madre de trigo y bagazo

	Control	MMTB25	MMTB50	B15_MMTB25	B15_MMTB50
ALTURA CENTRO (cm)	8,47 ± 0,51 ^a	6,00 ± 0,35 ^b	6,53 ± 0,15 ^b	5,90 ± 0,4 ^b	6,80 ± 0,30 ^b
ALTURA EXTREMO 1 (cm)	7,87 ± 0,4 ^a	5,30 ± 0,2 ^b	6,3 ± 0,20 ^c	5,17 ± 0,25 ^b	5,47 ± 0,31 ^b
ALTURA EXTREMO 2 (cm)	8 ± 0,46 ^a	5,33 ± 0,25 ^b	6,33 ± 0,15 ^c	4,97 ± 0,35 ^b	5,60 ± 0,30 ^{bc}
pH	5,61 ± 0,12 ^a	5,74 ± 0,12 ^b	5,90 ± 0,02 ^c	5,71 ± 0,09 ^{ab}	5,80 ± 0,09 ^{bc}
ACIDEZ (mL)	2,17 ± 0,14 ^{ab}	2,00 ± 0,18 ^a	2,77 ± 0,07 ^c	2,10 ± 0,23 ^{ab}	2,22 ± 0,11 ^b
L*	79,27 ± 0,52 ^a	72,03 ± 0,87 ^b	63,19 ± 1,61 ^c	55,28 ± 0,83 ^d	51,62 ± 0,86 ^e
a*	3,64 ± 0,17 ^a	4,25 ± 0,19 ^b	6,19 ± 0,4 ^c	6,98 ± 0,24 ^d	7,84 ± 0,18 ^e
b*	23,1 ± 0,37 ^a	21,39 ± 0,37 ^b	22,52 ± 0,65 ^c	22,40 ± 0,3 ^c	20,76 ± 0,18 ^d

La luminosidad del pan (L*) disminuyó al añadir la masa madre, y esto se acentuó con la adición de un 15 % de bagazo. Al mismo tiempo que el parámetro a* aumentó, ya que el pan, con la incorporación de bagazo se oscureció adquiriendo un tono marrón.

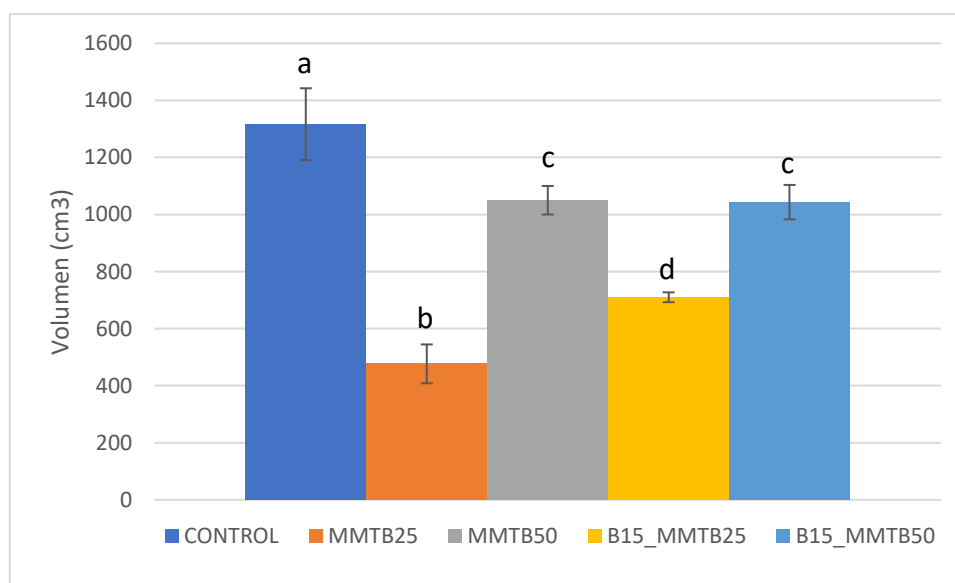


Figura 23. Volumen de los ensayos de panificación a partir de masa madre de trigo y bagazo

En este caso el volumen, Figura 23, aumentó a la vez que lo hizo la cantidad de masa madre que se incorporó, aunque sin alcanzar al pan control.

No existen diferencias significativas en cuanto al volumen entre los dos casos en los que se añadió un 50 % de masa madre, aunque incorpore el 15 % de harina de bagazo, aunque ambos panes tuvieron un volumen significativamente menor que el control.

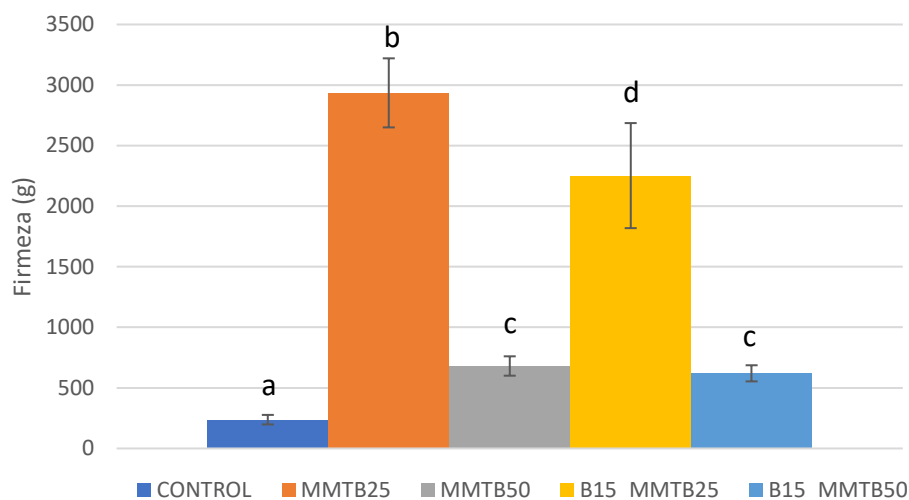


Figura 24. Firmeza de los panes elaborados a partir de masa madre de trigo y bagazo

En cuanto a la firmeza de la miga de los panes, Figura 24, se puede observar una tendencia similar al caso del volumen. Esta disminuyó cuando la cantidad de masa madre aumentó, aunque sin permanecer en el mismo grupo homogéneo que el pan control. Al utilizar como agente fermentativo la masa madre de harina de trigo y bagazo se obtienen datos más alejados de los de referencia sin conseguir que ninguna formulación permanezca en el grupo homogéneo con el pan control.

En la Figura 25 se puede observar la evolución de los panes al añadir mayor contenido de masa madre de harina de trigo y bagazo, aunque con volúmenes inferiores los obtenidos si se utiliza como agente fermentativo la masa madre de trigo y bagazo.

Estos resultados coinciden con el estudio realizado por Ktenioudaki et al., 2015, que determina que la adición de un compuesto rico en fibra como es el bagazo hace que los productos de panadería a los que se les añade sufran modificaciones en sus características físico químicas, dando como resultado productos (masa madre) más oscuros, de menor volumen, mayor dureza y una estructura más densa.

Por todo ello se puede decir que al utilizar como fermento la masa madre de trigo y bagazo se obtienen peores resultados de panificación, sobre todo en cuanto al volumen y a la firmeza de la miga.

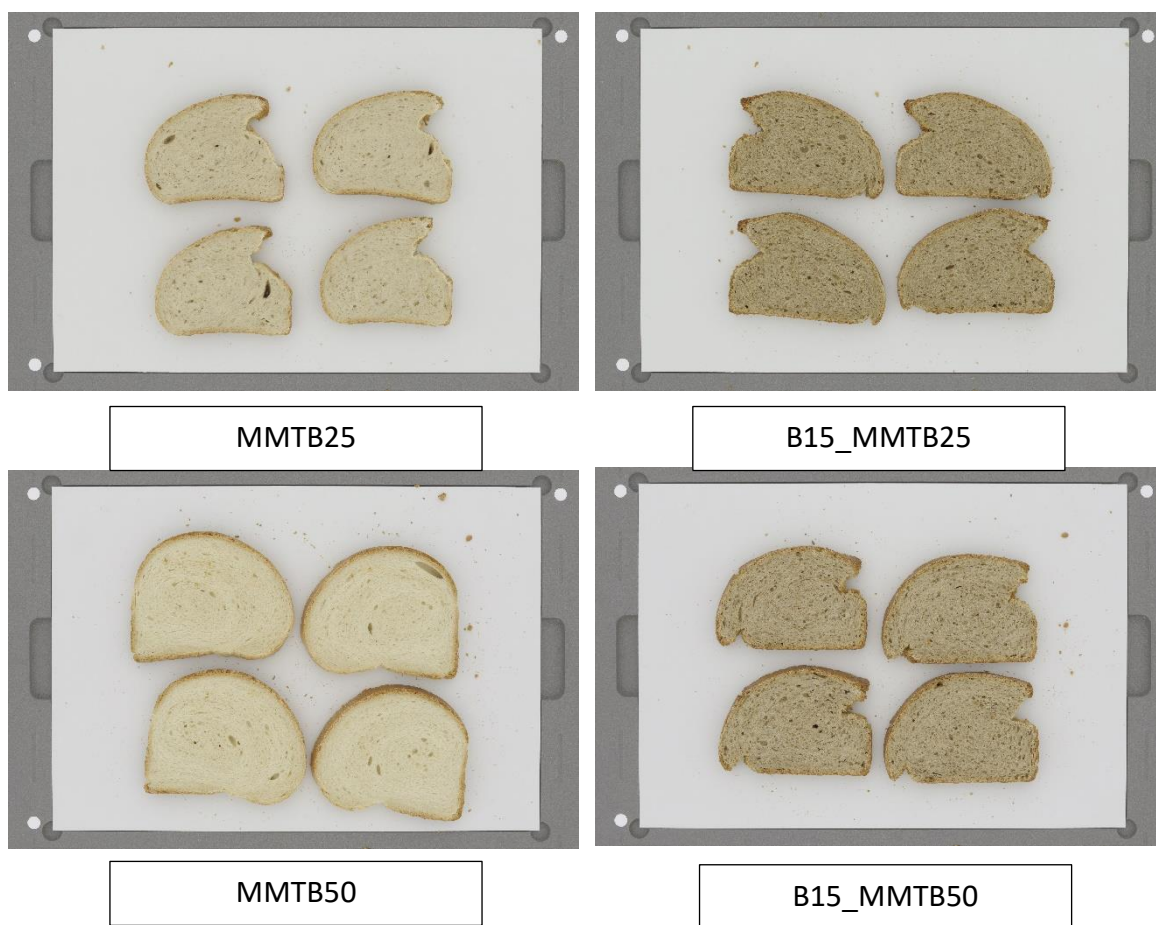


Figura 25. Imágenes ensayos de panificación con masa madre de trigo y bagazo

4.4. Análisis de correlaciones lineales y de componentes principales

Como ya se ha visto anteriormente se estudiaron diferentes variables físico químicas para los 11 ensayos de panificación realizados. Las variables que se evaluaron en este análisis estadístico fueron las siguientes:

Altura centro → AC

Volumen

pH

Acidez

Firmeza

L*

a*

b*

Primero se realizó una matriz de correlaciones, para determinar si las variables están relacionadas entre sí y conocer el tipo de relación que existe entre ellas.

Como se muestra en la Tabla 21, los valores señalados en rojo son los valores destacables. Siendo cuanto más cercano a 1, la relación es positiva, es decir cuando una variable aumenta la otra también lo hace, sin embargo, si esta relación es negativa significa que cuando una variable aumenta la otra disminuye.

Tabla 21. Matriz de correlaciones

	AC	Volumen	pH	Acidez	firmeza	L*	a*	b*
AC	1,000							
Volumen	0,934	1,000						
pH	0,934	0,943	1,000					
Acidez	0,874	0,811	0,855	1,000				
Firmeza	-0,359	-0,269	-0,279	-0,088	1,000			
L*	0,000	0,145	-0,119	-0,066	0,172	1,000		
a*	-0,708	-0,647	-0,641	-0,836	0,055	-0,296	1,000	
b*	0,387	0,507	0,361	-0,022	-0,386	0,436	0,012	1,000

El objetivo del análisis de componentes principales es obtener un número reducido de nuevas variables (componentes), obtenidas a partir de ecuaciones lineales de las 8 variables de partida, que consigan explicar la mayor variabilidad en los datos, y facilitar la interpretación de los resultados, es decir, la relación entre las variables, y entre las

mismas y las distintas formulaciones. En este caso, se han obtenido 3 componentes que obtuvieron valores superiores a 1. Estos 3 componentes explican el 80,8 % de la variabilidad de los datos originales, tal y como aparece en la Tabla 22.

Tabla 22. Análisis de componentes principales

Componente Número	Eigenvalor	Porcentaje de Varianza	Porcentaje Acumulado
1	2,8705	35,881	35,881
2	2,18425	27,303	63,184
3	1,40944	17,618	80,802
4	0,916421	11,455	92,258
5	0,476861	5,961	98,218
6	0,076795	0,960	99,178
7	0,0526726	0,658	99,837
8	0,0130561	0,163	100,000

Los coeficientes (pesos) de las variables originales en las ecuaciones de los tres componentes aparecen en la Tabla 23.

Tabla 23. Pesos de las propiedades de los panes en los componentes

	Componente 1	Componente 2	Componente 3
ALTURA CENTRO	0,561636	0,0182288	0,00682441
VOLUMEN	0,50465	-0,263149	0,157063
pH	-0,24419	-0,120867	0,641662
ACIDEZ	0,0937127	0,29837	0,523161
FIRMEZA	-0,48162	0,249492	-0,298508
L*	0,24215	0,597133	-0,0738122
a*	-0,15897	-0,588684	0,0470319
b*	0,21358	-0,247838	-0,43942

Los primeros dos componentes principales suponen un 63,2 % de la variabilidad por lo que se han representado gráficamente las variables estudiadas, Figura 26, los valores de estas variables se han estandarizado restándoles su media y dividiéndolos entre sus desviaciones estándar.

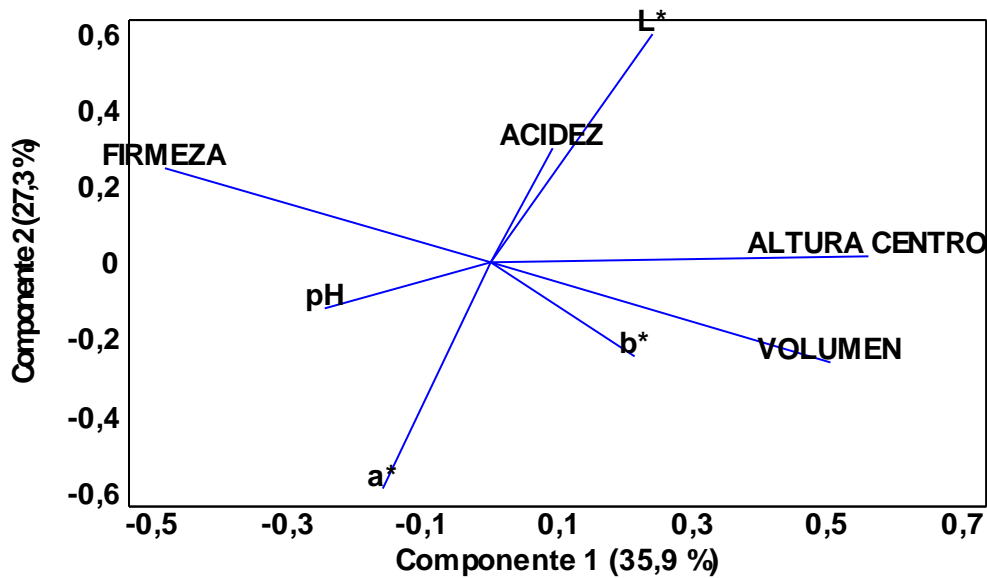


Figura 26. Representación de las variables estudiadas en los dos componentes principales

En la Figura 26 se puede observar las relaciones que existen entre las diferentes variables. Por ejemplo, el volumen de los panes y la altura están relacionadas, es decir cuando una aumenta la otra también lo hace. La variable de la firmeza disminuye cuando las dos anteriores aumenta, por lo que se puede decir que cuanto más compacta es la miga, el pan resultante tiene menor volumen por lo que su altura también disminuye. Estas tres variables son las más importantes en el componente 1.

En el componente 2 destacan por su parte los parámetros colorimétricos, luminosidad y a^* . Ambas se contraponen, de forma que, al disminuir la luminosidad de los panes, la variable a^* aumenta, esto se debe a que los panes se vuelven más oscuros porque adquieren un tono marrón.

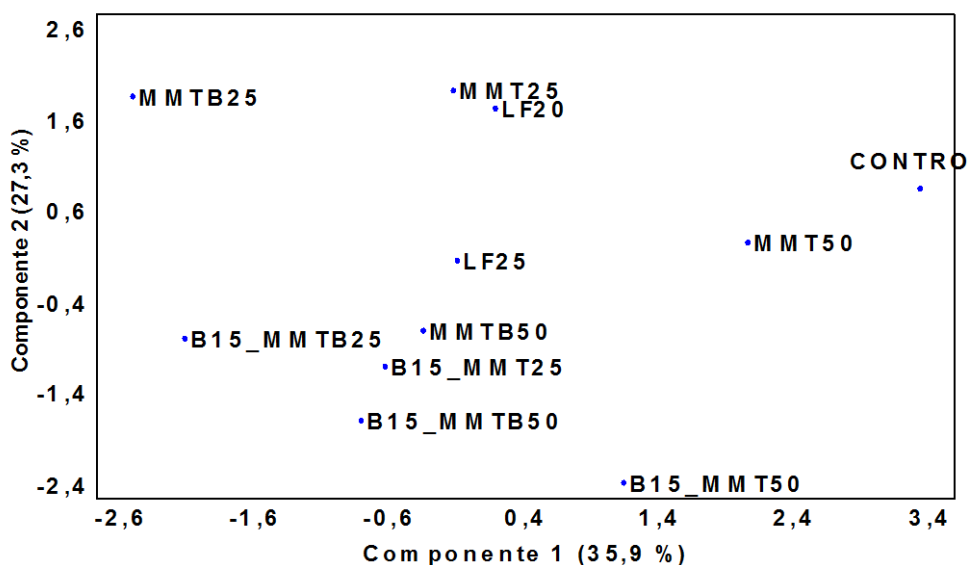


Figura 27. Distribución de las formulaciones según los dos primeros componentes principales

En la Figura 27 aparecen reflejados los 11 ensayos de panificación, según su posición se puede suponer sus características físico químicas representadas por las diferentes variables que previamente han sido agrupadas en dos componentes principales.

El pan control toma valores altos para ambos componentes, esto se debe a que el pan de referencia es un pan de alto volumen y altura, con una firmeza de la miga baja y además la miga es clara.

En los ensayos en los que se incorpora un 15 % de harina de bagazo a la masa, se obtienen valores bajos con respecto al componente 2, el cual representa el color. Por la adición de bagazo los panes se han vuelto más oscuros.

Si agrupamos los ensayos realizados con la misma masa madre, pero con diferentes porcentajes de adición, y los comparamos entre sí. Se puede observar que los ensayos con mayor porcentaje de más madre, 50 %, tienen mayores valores en el componente 2 y menores en el 1. Por lo que podemos suponer que el añadir mayor cantidad de masa madre hace que los panes resultantes tengan mayor volumen y menor firmeza. Además, la masa madre afecta al color, dando como resultado panes más oscuros.

Finalmente, si comparamos los ensayos con masa madre exclusivamente de trigo con los equivalentes, pero elaborados con masa madre de trigo y bagazo, vemos que los primeros se sitúan siempre a la derecha de los segundos, lo que indica un mayor volumen y una menor firmeza.

5. CONCLUSIONES

Una vez analizados todos los resultados de la caracterización físico química de los diferentes ensayos de panificación, se han llegado a las siguientes conclusiones:

- La panificación a partir de lías de fermentación en fresco dio lugar a panes con un excesivo amargor, que incluso podía resultar desagradable desde el punto de vista organoléptico.
- Por su alta actividad fermentativa la masa madre de trigo necesitaba 40 minutos de prefermentación para conseguir activar las levaduras presentes y que se duplique su tamaño. La masa madre de trigo y bagazo necesitaba 1 hora para alcanzar este punto. Y la masa madre elaborada únicamente con harina de bagazo no conseguía aumentar su tamaño, por lo que se rechazó su posible utilización como agente fermentativo.
- Utilizando como agente fermentativo la masa madre elaborada a partir de harina de trigo se obtenía mayor volumen y menor firmeza que si se empleaba la masa madre de trigo y bagazo.
- Cuando el contenido de masa madre variaba de un 25 % a un 50 % el volumen del pan aumentaba significativamente alcanzando el del pan control, mientras que la firmeza sufría el efecto opuesto, disminuía hasta alcanzar al control.
- Se estableció un rango de adición de masa madre:
 - El mínimo porcentaje de adición era el 25 %, ya que si se añadía menor cantidad no se alcanzaba un volumen satisfactorio y la miga resultante era muy compacta, por lo que podía ser rechazado por el consumidor.
 - El máximo nivel de adición de masa madre era el 50 %, si este valor se sobre pasa se obtiene un producto muy amargo que podría ser rechazado desde el punto de vista organoléptico.
- Al incorporar un 15 % de harina de bagazo en la masa del pan el color de los panes resultantes era más oscuro, ya que adquiría un tono marrón proporcionado por el bagazo.
- El incorporar la harina de bagazo al 15 % no alteraba demasiado ni el volumen del pan, ni la firmeza de este.
- Con la incorporación de los dos subproductos se obtiene un pan de características nutricionales mejoradas, destacando el aumento del contenido de fibra en el pan, comparándolo con un pan blanco. Este aporte de fibra se debía principalmente a la adición de bagazo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- A.E. Baker, C.E. Walker, and K. K. (s. f.). An Optimum Compression Depth for Measuring Bred Crumb Firmness.
- Alegre, M. (2009). Ciencia y Tecnología Alimentaria EL PAN Y SU PROCESO DE ELABORACIÓN THE BREAD AND ITS PROCESSING O PAN E O SEU, 8122(June 2017). <https://doi.org/10.1080/11358120209487744>
- Aliyu, S., & Bala, M. (2011). Brewer ' s spent grain : A review of its potentials and applications, 10(3), 324-331. <https://doi.org/10.5897/AJBx10.006>
- Calaveras, J. 1996. Tratado de Panificación y Bollería. Ed. AMV, Madrid.
- Callejo, M. J. 2002. Industrias de Cereales y Derivados. Ed. AMV-Mundi-Prensa, Madrid.
- Calvel, R. 1983. La Panadería Moderna. Ed. AméricaLee, Buenos Aires.
- Calvel, R. 1994. El Sabor del Pan. Ed. Montagud, Barcelona.
- Eliasson, A.CH.; Larsson, K. 1993. Cereals in Breadmaking: A Molecular Colloidal Approach. Ed. Marcel Dekker, New York.
- Fernández Ginés, J.M., et al. (2008). Generación de subproductos de la industria agroalimentaria : situación y alternativas para su aprovechamiento y revalorización. Especial Alimentaria, 39-42.
- Ferreiraa, I. M. P. L. V. O., & O. Pinhoa, b, E. V. and J. G. T. (2010). Brewer ' s Saccharomyces yeast biomass : characteristics and potential applications. *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), 77-84. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.10.008>
- Fillaudeau, L., Blanpain-Avet, P., & Daufin, G. (2006). Water, wastewater and waste management in brewing industries. *Journal of Cleaner Production*, 14, 463e471.
- Hassona, H. Z. (1993). High fibre bread containing brewer's spent grains and its effect on lipid metabolism in rats. *Food/Nahrung*, 37(6), 576–582.
- Heitmann, M., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2015). Impact of different beer yeasts on wheat dough and bread quality parameters. *Journal of Cereal Science*, 63, 49-56. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.02.008>
- Kanauchi, O., Mitsuyama, K., Araki, Y., 2001. Development of a functional germinated barley foodstuff from brewers' spent grain for the treatment of ulcerative colitis. *Journal of the American Society of Brewing Chemists* 59, 59–62.
- Katina, K., Sauri, M., Alakomi, H. L., & Mattila-Sandholm, T. (2002). Potential of lactic acid bacteria to inhibit rope spoilage in wheat sourdough bread. *Lebensmittel-Wissenschaft and Technologie-Food Science and Technology*, 35(1), 38–45.
- Kim, H.Y.L., Yeom, H.W., Lim, H.S., Lim, S.-T., 2001. Replacement of shortening in yellow

layer cakes by Corn Dextrins. *Cereal Chemistry* 78, 267e271.

- Ktenioudaki, A., Alvarez-Jubete, L., Smyth, T. J., Kilcawley, K., Rai, D. K., & Gallagher, E. (2015). Application of bioprocessing techniques (sourdough fermentation and technological aids) for brewer's spent grain breads. *Food Research International*, 73, 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.008>
- Ktenioudaki, A., Crofton, E., Scannell, A. G. M., Hannon, J. A., Kilcawley, K. N., & Gallagher, E. (2013). Sensory properties and aromatic composition of baked snacks containing brewer's spent grain. *Journal of Cereal Science*, 57(3), 384-390. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.01.009>
- Huige, N.J., 1994. Brewery by-products and effluents, in: Hardwick, W.A. (Ed.), *Handbook of Brewing*. Marcel Dekker, New York, pp. 501–550.
- Liu, X., Wang, Q., Cui, S. W., & Liu, H. (2008). A new isolation method of β -D-glucans from spent yeast *Saccharomyces cerevisiae*, 22, 239-247. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2006.11.008>
- Messens, W., & De Vuyst, L. (2002). Inhibitory substances produced by Lactobacilli isolated from sourdough—a review. *International Journal of Food Microbiology*, 72, 31–43.
- Ministerio de Medio Ambiente. (2005). *Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del sector cervecero*.
- Mussatto, S. I., Dragone, G., & Roberto, I. C. (2006). Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications, 43, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.06.001>
- Pinho, O., Ferreira, I. M. P. L. V. O., & Santos, L. H. M. L. M. (2006). Method optimization by solid-phase microextraction in combination with gas chromatography with mass spectrometry for analysis of beer volatile fraction. *Journal of Chromatography A*, 1121, 145e153.
- Plessas, S., Pherson, L., Bekatorou, A., Nigam, P., & Koutinas, A. A. (2005). Bread making using kefir grains as baker's yeast. *Food Chemistry*, 93(4), 585–589.
- Plessas, S., Trantallidi, M., Bekatorou, A., & Kanellaki, M. (2007). Food Chemistry Immobilization of kefir and *Lactobacillus casei* on brewery spent grains for use in sourdough wheat bread making, 105, 187-194. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.065>
- Simova, E., Beshkova, D., Angelov, A., Hristozova, T., Frengova, G., & Spasov, Z. (2002). Lactic acid bacteria and yeasts in kefir grains and kefir made from them. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 28(1), 1–6.
- Stojceska, V., & Ainsworth, P. (2008). The effect of different enzymes on the quality of high-fibre enriched brewer's spent grain breads, 110, 865-872. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.074>

- Tejero, F. 1992-1995. Panadería Española. (2 Vols.). Ed. Montagud, Barcelona.
- Townsley, P.M., 1979. Preparation of commercial products from brewer's waste grain and trub. *MBAA Technical Quarterly* 16, 130–134.
- Vieira, E. F., Carvalho, J., Pinto, E., Cunha, S., Almeida, A. A., & Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2016). Journal of Food Composition and Analysis Nutritive value , antioxidant activity and phenolic compounds profile of brewer ' s spent yeast extract. *Journal of Food Composition and Analysis*, 52, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.07.006>

ANEJO I

Los ensayos de panificación se repitieron con los subproductos obtenidos de un proceso de elaboración de cerveza lager.

Se realizaron los ensayos que se representan en la Tabla y los panes resultantes se caracterizaron físico químicamente.

Tabla 24. Ensayos de panificación elaboración Lager

Ensayo	Harina de trigo	Harina de bagazo	Lías de fermentación	Masa madre de trigo	Masa madre de trigo y bagazo	Suplemento de levadura
LF25	100	-	25	-	-	
MMT25	100	-	-	25	-	
MMT50	100	-	-	50	-	
MMTB25	100	-	-	-	25	
MMTB50	100	-	-	-	50	
MMT25LV0,5	100			25		0,5
B15_MMT25	85	15	-	25	-	
B15_MMT50	85	15	-	50	-	
B15_MMTB25	85	15	-	-	25	
B15_MMTB50	85	15	-	-	50	

Los ensayos se dividen en dos grupos, los que llevan 15 % de harina de bagazo, y los que únicamente llevan harina de trigo en su composición.

En la Tabla se muestran los resultados de los análisis fisicoquímicos.

En el caso del pan elaborado a partir de 50 % de masa madre de trigo y bagazo estos análisis no se pudieron completar, ya que no se obtuvieron los 3 panes necesarios para que fuesen caracterizados.

En el caso de los ensayos en los que se ha incorporado 15 % de harina de bagazo no se pudieron realizar ninguna de las caracterizaciones, ni la de la formulación elaborada a partir de 25 % de masa madre de trigo, ni la realizada a partir de 25 % de masa madre de trigo y bagazo.

Ensayos de panificación con 100 % de harina de trigo

Tabla 25. Caracterización físico química ensayos elaboración Lager (100 % harina de trigo)

ENSAYO	PAN	AC	AE1	AE2	VOLUMEN	pH	ACIDEZ	TEXTURA	L*	a*	b*
CONTROL	1	8,6	8,1	8,1	1300	5,49	2,3	245,019	79,44	3,71	23,2
						5,58	2,4	224,03	79,26	3,67	23,47
						5,55	2,1	244,327	80,04	3,69	22,82
								237,815	79,6	3,78	23,21
	2	7,9	7,4	7,5	1200	5,69	2,3	309,028	78,13	3,97	23,95
						5,55	2,2	308,612	78,56	3,8	23,37
						5,59	2	255,618	79,04	3,69	23,13
								213,292	79,04	3,6	22,87
	3	8,9	8,1	8,4	1450	5,57	2	222,852	79,6	3,41	22,78
5,89						2,1	210,591	79,57	3,37	22,72	
5,54						2,1	181,357	79,54	3,49	22,8	
							197,636	79,46	3,49	22,8	
TF25	1	6,1	6	5,6	660	6,06	3,3	1940,896	76,16	5,27	21,9
						6,03	3,2	1928,912	75,83	5,47	22,21
						6,01	3,1	2112,763	76,12	5,07	21,91
								1780,806	75,04	5,1	21,85
	2	6,5	6,2	5,5	680	6,1	3,1	1989,318	76,59	5,17	21,86
						6,2	3,3	2030,328	75,07	5,43	22,1
						6,07	3,1	1789,881	76,22	5,17	22,03
								1802,766	76,45	5,13	22,01
	3	5,8	5,7	5,4	610	5,98	3,1	2188,479	75,45	5,42	22,3
6,05						3,3	1856,868	76,25	5,39	21,62	
6,1						3,4	1874,948	75,89	5,22	22,04	
							1626,119	76	5,18	21,97	
MMT25	1	6,1	5,3	5,9	800	5,7	3,2	2609,868	78,11	4,37	20,46
						5,83	3,1	2145,114	77,67	4,73	20,93
						5,78	3,3	2251,379	78,03	4,19	20,55
								2210,023	78,76	3,92	19,86
	2	6,4	5,6	5,3	770	5,98	3,8	2221,106	76,77	4,45	20,71
						5,79	3,2	1952,811	77,49	4,22	20,36
						5,86	3,3	1979,551	77,35	4,52	20,42
								2258,098	76,15	4,79	21,11
	3	6,3	5,8	5,2	730	5,71	3,3	2634,806	77,32	4,53	20,82
5,84						3,2	2319,267	77,19	4,33	20,62	
5,74						3	2459,683	77,74	3,98	20,24	
							2417,219	77,96	4,14	20,31	

ENSAYO	PAN	AC	AE1	AE2	VOLUMEN	pH	ACIDEZ	TEXTURA	L*	a*	b*
MMT50	1	6,5	6,2	5,7	800	5,83	4,1	2774,391	79,12	4,13	21,75
						5,91	4,2	2828,702	79,28	4,19	21,5
						5,78	4	2749,661	79,18	3,96	21,34
								2910,86	79,86	3,83	21,06
	2	6,6	6	5,9	900	5,87	4,1	2701,724	80,04	3,87	21,17
						5,84	4	2479,149	80,13	4,06	21,35
						5,74	4,1	2489,54	80,04	3,68	20,85
								2551,332	80,07	3,58	20,74
	3	6,3	6,2	6,2	800	5,69	4	2134,515	79,86	3,83	21,33
5,79						3,9	2326,471	79,16	3,97	21,45	
5,74						3,9	2469,312	79,95	3,79	21,68	
							2288,925	79,64	3,57	21,12	
MMTB25	1	4,7	4,3	4,6	530	6,02	2,5	5002,494	71,23	5,31	20,65
						5,99	2,1	5191,264	71,01	5,28	20,92
						6,02	2,3	4008,216	69,83	5,27	21,04
								3850,066	70,69	5,19	20,98
	2	5	4,4	4,5	510	5,95	2,2	3320,333	70,38	5,51	21,13
						5,9	2,2	4425,033	70,85	5,53	21,35
						5,98	2,1	4645,045	71,22	5,22	21,29
								5367,426	70,71	5,31	21,61
	3	4,6	4	5,4	540	6,1	2,4	4800,909	70,88	5,5	21,64
6,01						2,4	5046,968	71,58	5,5	21,26	
5,97						2,2	4229,89	71,48	5,07	21,19	
							4570,022	71,34	5,13	21,67	
MMTB50	1	5,6	5,5	6,3	880	5,91	3,7	1908,061	63,2	6,26	22,57
						5,88	3,7	1999,986	59,85	6,82	23,32
						5,91	3,9		64,19	5,82	21,89
	2	5,6	4,7	5,4	850	5,87	3,8	748,289	64,11	6,38	23,18
						5,92	3,8		60,78	6,74	23,52
						5,89	3,8		62,28	6,27	22,62
									62,63	6,48	22,93
	3	5,8	5	5,1	855	5,89	3,8	2378,772	65,11	5,6	21,93
						5,92	3,7	1690,266	64,09	5,85	21,52
5,92						3,7	1858,531	64,66	5,67	21,77	
							2351,201	62,83	6,03	22,4	

ENSAYO	PAN	AC	AE1	AE2	VOLUMEN	pH	ACIDEZ	TEXTURA	L*	a*	b*
MMT25LV0,5	1	7	6,2	6,6	1300	5,92	3,3	715,384	79,26	4,32	22,71
						5,86	3,5	599,144	80,34	3,76	21,44
						5,87	3,7	561,806	80,13	3,73	21,73
								574,275	80,47	3,62	21,31
	2	7,1	6,7	6,8	1250	5,84	3,7	749,397	79,97	3,9	21,63
						5,88	3,6	548,159	78,87	4,35	22,62
						5,91	3,5	547,812	79,39	3,99	22,19
								645,973	80,05	3,7	21,51
	3	7,1	6,6	6,6	1390	5,89	3,7	601,43	80,2	3,76	21,94
						5,81	3,7	686,082	79,67	4,11	22,74
						5,92	3,7	628,724	79,98	3,74	22,14
								584,527	80,32	3,56	21,57

A continuación se presentan los gráficos de volumen y firmeza de los panes, características fundamentales para su aceptación.

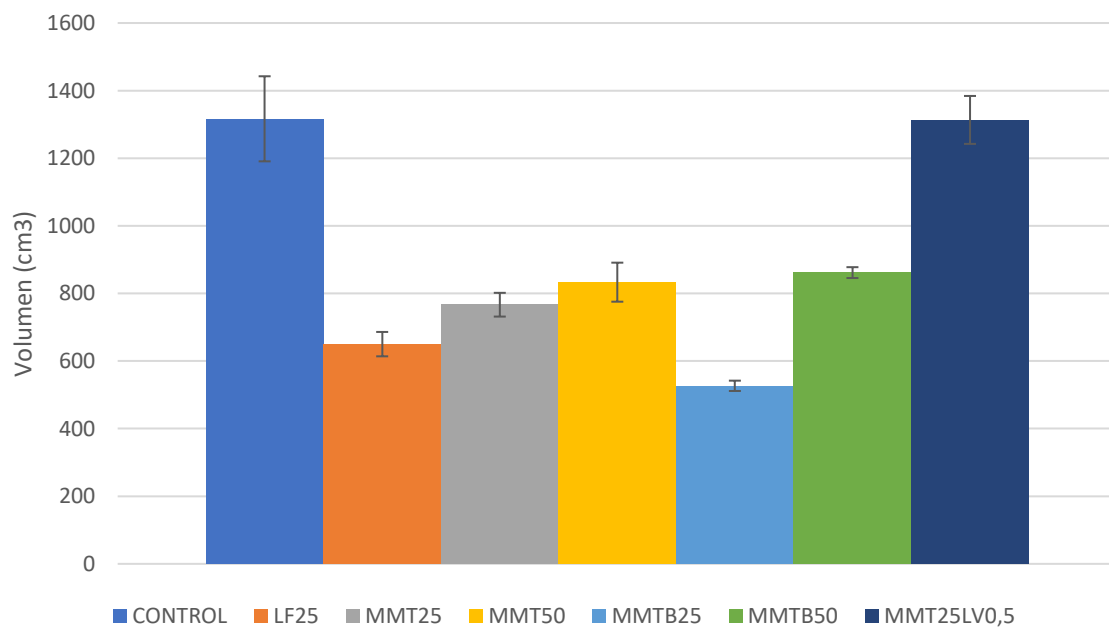


Figura 28. Volumen de los panes de la elaboración Lager (100 % harina de trigo)

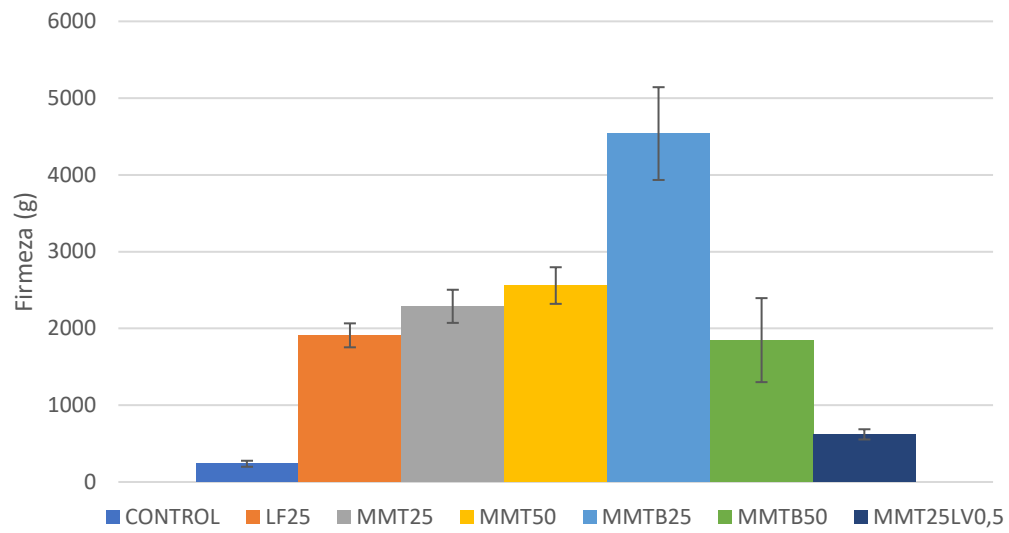


Figura 29. Firmeza de los panes de la elaboración Lager (100 % harina de trigo)

Ensayos de panificación incorporando 15 % de harina de bagazo

Tabla 26. Caracterización físico química ensayos elaboración Lager (15 % harina de bagazo)

ENSAYO	PAN	AC	A1	A2	VOLUMEN	pH	ACIDEZ	TEXTURA	L*	a*	b*
CONTROL	1	8,6	8,1	8,1	1300	5,49	2,3	245,019	79,44	3,71	23,2
						5,58	2,4	224,03	79,26	3,67	23,47
						5,55	2,1	244,327	80,04	3,69	22,82
								237,815	79,6	3,78	23,21
	2	7,9	7,4	7,5	1200	5,69	2,3	309,028	78,13	3,97	23,95
						5,55	2,2	308,612	78,56	3,8	23,37
						5,59	2	255,618	79,04	3,69	23,13
								213,292	79,04	3,6	22,87
	3	8,9	8,1	8,4	1450	5,57	2	222,852	79,6	3,41	22,78
						5,89	2,1	210,591	79,57	3,37	22,72
						5,54	2,1	181,357	79,54	3,49	22,8
								197,636	79,46	3,49	22,8
B15_MMT25	1										
	2										
	3										
B15_MMT50	1	6,4	5,5	5,3	1200	5,85	4,4	2548,699	60,4	6,91	21,2
						5,86	4,2	2643,673	61,5	6,74	20,95
						5,68	4,4	1989,526	60,9	7,1	21,49
								1919,006	61,3	6,83	21,17
	2	6,2	5,5	5,3	990	5,92	4,2	1918,036	60,81	6,59	20,9
						5,78	4,2	1800,826	60,62	6,75	20,94
						5,81	4,3	1926,626	60,4	6,52	20,67
								1882,568	59,71	6,51	20,51
	3	6,2	5,6	5,5	1150	5,91	4,2	2284,006	60,27	6,75	20,87
						5,82	4,3	2098,701	60,07	6,79	21
						5,74	4,3	2023,054	60,38	7	21,25
								2082,352	60,31	6,8	20,89

ENSAYO	PAN	AC	A1	A2	VOLUMEN	pH	ACIDEZ	TEXTURA	L*	a*	b*	
B15_MMTB25	1	4,2	4,1	4,1	470	5,95	3,1	7991,217	53,04	7,97	20,63	
						5,98	3	5366,733	53,27	7,93	20,79	
						6	2,9	6928,012	52,46	7,8	20,47	
								4793,497	52,33	7,9	20,42	
	2											
	3											
	B15_MMTB50	1	4,8	5,6	4,3	900	5,76	4,2	1940,342	52,16	7,8	20,49
							5,69	4,1	2992,948	52,39	7,81	20,68
							5,77	4,1	1543,684	51,54	7,97	20,8
								2142,274	49,96	8,19	20,72	
2		5,6	4,4	5,5	925	5,73	4	3016,709	52,24	7,64	20,6	
						5,72	4,1	2219,582	52,29	7,74	20,69	
						5,78	4,1	2406,966	52,79	7,56	20,75	
								2442,434	50,86	8,05	21,04	
3		5,6	4,8	5,3	920	5,74	4,3	2507,897	51,33	7,85	20,88	
						5,76	4,2	2588,809	52	7,75	20,59	
						5,84	4,2	2455,735	50,45	7,97	21,12	
								2908,851	51,43	7,76	20,78	

En los siguientes gráficos se muestran las variaciones en el volumen y en la firmeza de los panes a los que se les ha añadido 15 % de harina de bagazo.

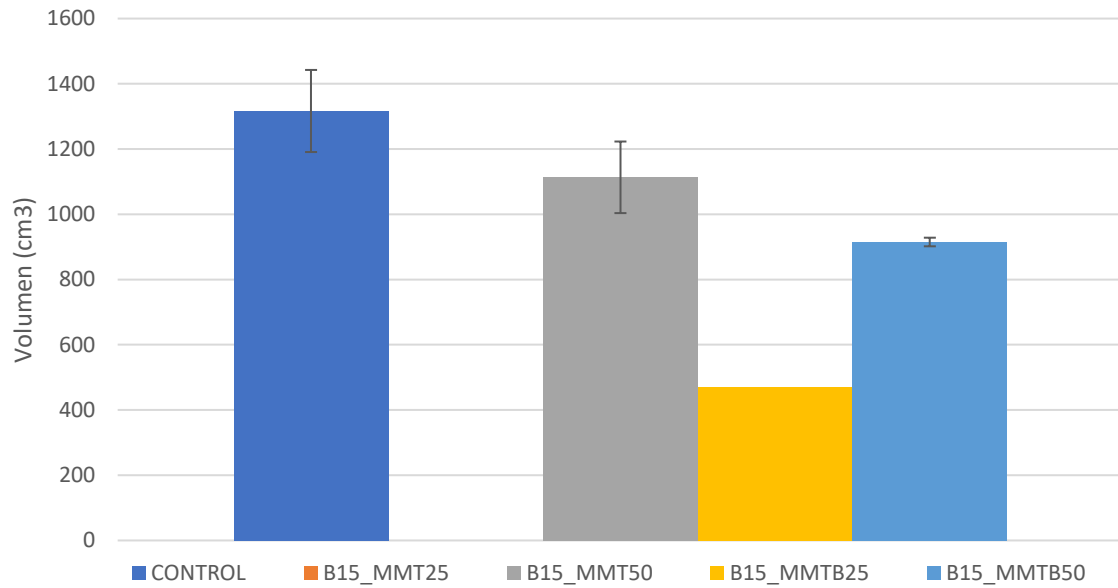


Figura 30. Volumen de los panes de la elaboración Lager (15 % harina de bagazo)

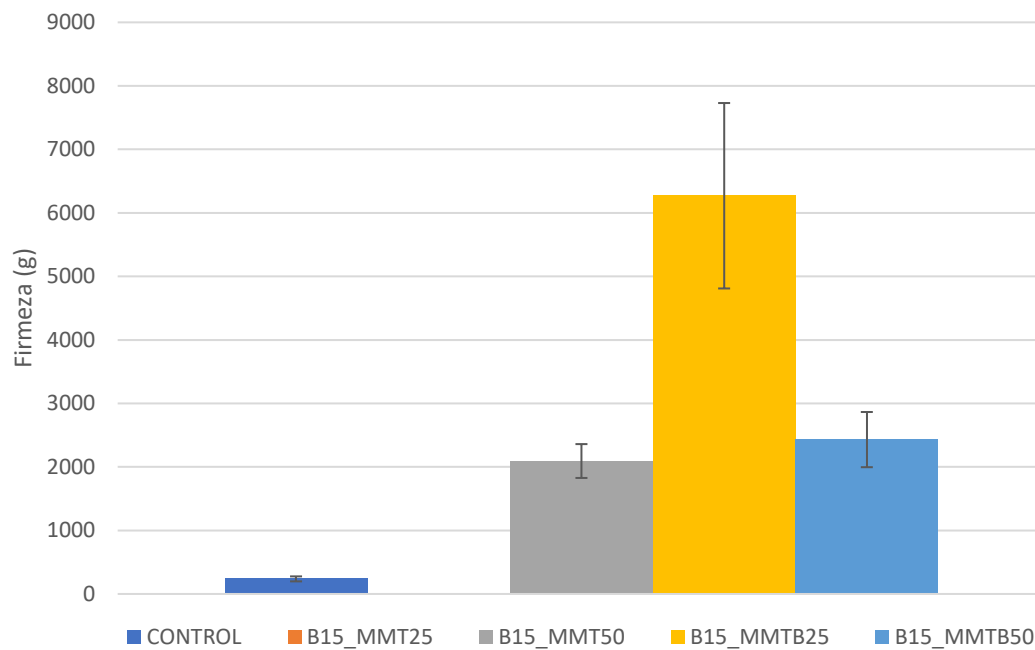


Figura 31. Firmeza de los panes de la elaboración Lager (15 % harina de bagazo)