

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Desarrollo y caracterización de harina de bagazo de cerveza.

Trabajo de graduación presentado por Evelyn Rocío Díaz Nufio para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos.

Guatemala  
2021



Desarrollo y caracterización de harina de bagazo de cerveza.

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería



Desarrollo y caracterización de harina de bagazo de cerveza.

Trabajo de graduación presentado por Evelyn Rocío Díaz Nufio para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias de los Alimentos.

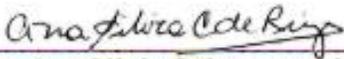
Guatemala  
2021

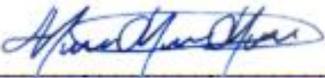
Vo. Bo.

(f)   
MSc. Nancy Linde  
Asesor

Tribunal examinador:

(f)   
MSc. Nancy Linde

(f)   
MSc. Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(f)   
MSc. Marisabel Morales Muralles

Fecha de aprobación de examen de graduación:

Guatemala, 09 de diciembre de 2021.

## **PREFACIO**

El propósito de esta investigación fue emplear el bagazo de cerveza como materia prima para la elaboración y caracterización de harina de cebada malteada. En este experimento se utilizó el bagazo de una cervecería artesanal, el cual fue analizado físicoquímica y microbiológicamente para su posterior transformación en harina. Durante el proceso de elaboración de la harina se emplearon los métodos de pasteurización, prensado, deshidratación y molienda. La harina resultante fue comparada con la harina de trigo mediante un análisis sensorial. Este trabajo fue realizado durante el año 2021, en la universidad del Valle de Guatemala.

Agradecimientos:

Gran parte de los conocimientos que hoy poseo y que me guían en mis decisiones como profesional, los he adquirido gracias a la dedicación y esfuerzo durante mis años universitarios y a quienes formaron parte de ella.

Expreso mi gratitud a Dios por brindarme la sabiduría, ciencia y fortaleza necesarias para culminar mis estudios.

Quiero agradecer a mi asesora y a los profesores por su invaluable guía y orientación.

A todos los miembros del Centro de Investigación y del Departamento de Alimentos, les agradezco por su colaboración y paciencia.

A mis padres, Evelin y Guayo, quienes con amor y esfuerzo me han permitido alcanzar mis sueños. Agradezco por inculcarme el ejemplo de trabajo, superación y temor a Dios. Sin ustedes esto no hubiese sido posible.

A mi hermana, Dulce, por su cariño y apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento. Juanita, quien, con consejos y amor, hicieron de mí una mejor persona.

A toda mi familia porque con sus oraciones y apoyo me acompañaron el camino hacia cumplir mis metas.

Finalmente, agradezco a mis amigos y compañeros, con quienes compartí mi vida universitaria. Gracias por su compañía y amistad.

## CONTENIDO

PREFACIO.....	v
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE CUADROS .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xiii
RESUMEN.....	xv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. ANTECEDENTES.....	2
A.    Industria cervecera en Guatemala.....	2
B.    Disponibilidad de bagazo de cerveza.....	2
C.    Mercado de harina en Guatemala.....	2
III. JUSTIFICACIÓN .....	4
IV. OBJETIVOS .....	7
A.    GENERAL.....	7
B.    ESPECÍFICOS.....	7
V. MARCO TEÓRICO.....	8
A.    Proceso de elaboración de la cerveza y generación del bagazo de cerveza .....	8
1.    Definición general de cerveza según regulación guatemalteca.....	8
2.    Insumos para la fabricación de la cerveza .....	8
3.    Proceso de elaboración de cerveza.....	15
4.    Composición del bagazo de cerveza.....	20
D.    Usos del bagazo de cerveza.....	22
E.    Proceso de conservación del bagazo de cerveza húmedo .....	24
F.    Elaboración de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza deshidratado.	25
G.    Proceso de elaboración de harina a partir de un grano.....	25
1.    Productos y subproductos de la producción de la harina.....	26
H.    Proceso de elaboración de harina a partir de bagazo de cerveza deshidratada. ....	26
1.    Proceso de deshidratación .....	26
2.    Humedad: .....	27
3.    Área de superficie: .....	27

<b>4. Temperatura:</b> .....	<b>27</b>
<b>5. Proceso de molienda</b> .....	<b>27</b>
<b>6. Proceso de tamizaje</b> .....	<b>28</b>
I. Legislación aplicable.....	28
J. Análisis de capacidad de retención de solventes.....	29
K. Residuos, subproductos y economía circular .....	29
L. Subproductos y la economía circular .....	30
VI. METODOLOGÍA.....	33
A. Localización.....	33
B. Metodología. ....	33
<b>1. Obtención del bagazo de cerveza húmedo</b> .....	<b>33</b>
<b>2. Preparación del bagazo de cerveza</b> .....	<b>33</b>
<b>3. Deshidratación de bagazo de cerveza húmedo.</b> .....	<b>33</b>
<b>4. Proceso de elaboración de harina</b> .....	<b>33</b>
<b>5. Validación del procedimiento tecnológico por medio de análisis microbiológico</b> <b>34</b>	
<b>6. Análisis fisicoquímicos de la cebada malteada humedad o bagazo de cerveza</b> <b>húmedo y de la harina de cebada malteada</b> .....	<b>36</b>
<b>7. Caracterización proximal de la harina de bagazo de cerveza</b> .....	<b>39</b>
VII. RESULTADOS.....	43
<b>1. Fisicoquímicos</b> .....	<b>45</b>
<b>2. Proximal</b> .....	<b>46</b>
<b>3. Color</b> .....	<b>46</b>
<b>1. Fisicoquímicos</b> .....	<b>46</b>
<b>2. Proximal</b> .....	<b>46</b>
<b>3. Color</b> .....	<b>49</b>
<b>4. Capacidad de retención de solventes (SRC)</b> .....	<b>49</b>
<b>5. Análisis de granulometría</b> .....	<b>50</b>
<b>6. Resumen análisis estadístico</b> .....	<b>51</b>
<b>a. Anova</b> .....	<b>51</b>
<b>b. Tukey HSD</b> .....	<b>51</b>
<b>1. Aceptación sensorial de brownies con harina de cebada malteada.</b> .....	<b>52</b>

VIII.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	54
IX.	CONCLUSIONES .....	59
X.	RECOMENDACIONES .....	60
XI.	BIBLIOGRAFÍA .....	61
XII.	ANEXOS .....	65
A.	Fotografías y figuras del proceso de trabajo. ....	65
B.	Datos microbiológicos del bagazo de cerveza. ....	72
C.	Datos del proceso de deshidratación del bagazo húmedo de cerveza .....	73
D.	Datos del análisis proximal de bagazo húmedo de cerveza y de las harinas de cebada malteada roja, base y caramelo.....	75
	<b>1. Grasa .....</b>	<b>75</b>
	<b>2. Proteína.....</b>	<b>76</b>
	<b>3. Cenizas .....</b>	<b>77</b>
	<b>4. Humedad.....</b>	<b>77</b>
	<b>5. Fibra dietética.....</b>	<b>78</b>
	<b>6. Fibra cruda.....</b>	<b>78</b>
	<b>7. Carbohidratos.....</b>	<b>79</b>
E.	Datos del análisis fisicoquímico de las harinas de cebada malteada roja, base y caramelo. ....	80
	<b>1. Actividad de agua.....</b>	<b>80</b>
	<b>2. Densidad.....</b>	<b>80</b>
	<b>3. Absorción de agua.....</b>	<b>81</b>
	<b>4. Acidez titulable.....</b>	<b>81</b>
	<b>5. Color.....</b>	<b>82</b>
F.	Datos crudos de capacidad de retención de solventes.....	82
	<b>1. Ácido láctico.....</b>	<b>82</b>
	<b>2. Agua destilada .....</b>	<b>83</b>
	<b>3. Sacarosa .....</b>	<b>84</b>
	<b>4. Carbonato de sodio .....</b>	<b>85</b>
	<b>5. Granulometría.....</b>	<b>86</b>
G.	Desarrollo de un producto con harina de cebada malteada. ....	87
H.	Datos de análisis sensorial .....	88

<b>1. Hoja maestra .....</b>	<b>88</b>
<b>2. Prueba de aceptación.....</b>	<b>90</b>
<b>3. Formulario de consentimiento informado .....</b>	<b>91</b>
<b>4. Preguntas del panel sensorial.....</b>	<b>91</b>
<b>5. Kit de análisis sensorial .....</b>	<b>94</b>
<b>6. Datos crudos del panel sensorial.....</b>	<b>95</b>
<b>7. Análisis de datos de la encuesta .....</b>	<b>98</b>

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1 Composición bromatológica de los cereales trigo, centeno, maíz, avena y arroz. ....	11
Cuadro 2 Contenido de vitaminas de los cereales trigo, centeno, maíz, cebada, avena y arroz.....	11
Cuadro 3 Métodos de conversión de color de la cerveza y malta. ....	13
Cuadro 4 Composición bromatológica del bagazo de cerveza. ....	22
Cuadro 5 Clasificación para para galletas y productos fermentados con base en la capacidad de retención de solventes (SRC). ....	29
Cuadro 6 Resultado de análisis microbiológico para las muestras de materia prima con tratamiento térmico y sin tratamiento térmico .....	44
Cuadro 7 Resultados de los análisis fisicoquímicos del bagazo húmedo de cerveza caramelo. ....	45
Cuadro 8 Composición fisicoquímica del bagazo de cerveza caramelo en base seca. ....	46
Cuadro 9 Medición de color en el bagazo de cerveza caramelo en base seca. ....	46
Cuadro 10 Análisis fisicoquímicos de las harinas de cebada malteada a partir de diferentes maltas. ....	46
Cuadro 11 Composición fisicoquímica de las harinas de cebada malteada a partir de diferentes maltas. ....	49
Cuadro 12 Composición fisicoquímica promedio de las 3 harinas elaboradas a partir de malta roja, base y caramelo. ....	49
Cuadro 13 Medición de color en harina de cebada de malteado a partir de diferentes maltas. ....	49
Cuadro 14 Análisis de capacidad de solventes para harina de cebada caramelo. ....	49
Cuadro 15 Análisis estadístico ANOVA de para las muestras de harina. ....	51
Cuadro 16 Análisis estadístico con prueba HDS Tukey para las harinas de cebada malteada caramelo - base. ....	51
Cuadro 17 Análisis estadístico con prueba HDS Tukey para las harinas de cebada malteada roja – base. ....	51
Cuadro 18 Análisis estadístico con prueba HDS Tukey para las harinas de cebada malteada roja – caramelo. ....	52
Cuadro 19 Porcentaje (%) de harina utilizado en formulación de brownie. ....	52
Cuadro 20 Aceptación promedio de cada atributo evaluado en el panel sensorial. ....	52
Cuadro 21 Nivel promedio de aceptación de cada atributo. ....	52
Cuadro 22 Análisis de varianza de un factor por medio de R Studio y diferencia de medias en la determinación de aceptación de las distintas variables. ....	53
Cuadro 23 Recuento total de aerobios mesófilos para las muestras de materia prima sin proceso térmico. ....	72
Cuadro 24 Recuento de coliformes totales para las muestras de materia prima sin proceso térmico para recuento de coliformes totales. ....	72
Cuadro 25 Recuento total de mohos y levaduras para las muestras de materia prima sin proceso térmico. ....	72
Cuadro 26 Recuento total de aerobios mesófilos para las muestras de materia prima con proceso térmico. ....	72
Cuadro 27 Recuento de coliformes totales para las muestras de materia prima con proceso térmico. ....	73
Cuadro 28 Recuento total de mohos y levaduras para las muestras de materia prima con proceso	

térmico. ....	73
Cuadro 29 Pesos obtenidos del deshidratado de bagazo de cerveza en secador de cardamomo....	73
Cuadro 30 Porcentaje de humedad con respecto al tiempo de deshidratado.....	74
Cuadro 31 Porcentaje de humedad en base seca y húmeda para el bagazo de cerveza deshidratado en el secador de cardamomo UVG con respecto al tiempo en horas. ....	75
Cuadro 32 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de porcentaje de grasa. ....	75
Cuadro 33 Porcentaje de grasa promedio (%) para las muestras analizadas.....	76
Cuadro 34 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de proteínas. ....	76
Cuadro 35 Porcentaje de proteína promedio (%) para las muestras analizadas.....	76
Cuadro 36 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de cenizas. ....	77
Cuadro 37 Porcentaje de cenizas promedio (%) para las muestras analizadas. ....	77
Cuadro 38 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de humedad en base seca. ....	77
Cuadro 39 Porcentaje de humedad en base seca promedio (%) para las muestras analizadas.....	78
Cuadro 40 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de fibra dietética en base seca. ....	78
Cuadro 41 Porcentaje de fibra dietética en base seca. ....	78
Cuadro 42 Datos crudos con Incertidumbre para el cálculo de Fibra cruda. ....	78
Cuadro 43 Porcentaje de fibra cruda (%) para las muestras analizadas. ....	79
Cuadro 44 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de carbohidratos. ....	79
Cuadro 45 Porcentaje de carbohidratos (%) para las muestras analizadas.....	79
Cuadro 46 Datos crudos sobre actividad de agua para cada una de las harinas.....	80
Cuadro 47 Datos promedios obtenidos sobre la actividad de agua para cada una de las harinas. .	80
Cuadro 48 Densidad de las harinas (g/cm <sup>3</sup> ) para cada una de las harinas.....	80
Cuadro 49 Densidad de las harinas (g/cm <sup>3</sup> ) promedio para cada una de las harinas.....	80
Cuadro 50 Datos crudos para el porcentaje de absorción de agua para cada una de las harinas. Datos crudos para el porcentaje de absorción de agua para cada una de las harinas. ....	81
Cuadro 51 Porcentaje de absorción de agua promedio para cada una de las harinas.....	81
Cuadro 52 Datos crudos para el porcentaje de acidez titulable.....	81
Cuadro 53 Porcentaje de absorción de agua promedio para cada una de las harinas.....	82
Cuadro 54 Datos crudos para determinación de color por medio de HUNTER LAB. ....	82
Cuadro 55 Análisis de la capacidad de retención de solventes SRC (%) para solución de ácido láctico 5% (p/p).....	82
Cuadro 56 Análisis de la capacidad de retención de solventes SRC (%) para agua destilada.....	83
Cuadro 57 Análisis de la capacidad de retención de solventes SRC (%) para solución de sacarosa 5% (p/p). ....	84
Cuadro 58 Análisis de la capacidad de retención de solventes SRC (%) para solución de carbonato de sodio 5% (p/p). ....	85
Cuadro 59 Datos obtenidos de granulometría para el proceso de disminución de partícula con molino. ....	86
Cuadro 60 Datos obtenidos de granulometría para el proceso de disminución de partícula con molino y ciclón. ....	87
Cuadro 61 Características de las formulaciones realizadas a partir de harina de cebada malteada. ....	87
Cuadro 62 Descripción de codificación de las muestras.....	88
Cuadro 63 Orden de presentación de las muestras.....	88
Cuadro 64 Tabla presentación de todos los panelistas.....	88

Cuadro 65 Datos ordenados obtenidos de la encuesta del panel sensorial de brownies de chocolate elaborados a partir de cebada malteada.....	95
Cuadro 66 Asistencia al panel según su género.....	98
Cuadro 67 Frecuencia de consumo para los panelistas evaluados.....	99
Cuadro 68 Edad de los panelistas evaluados.....	100
Cuadro 69 Resumen del ANOVA para el atributo Aceptación general de la muestra.....	100
Cuadro 70 Resumen del ANOVA para el atributo Apariencia de la muestra.....	101
Cuadro 71 Resumen del ANOVA para el atributo de Olor de la muestra.....	103
Cuadro 72 Resumen del ANOVA para el atributo de Sabor de la muestra.....	104
Cuadro 73 Resumen del ANOVA para el atributo de Textura de la muestra.....	105
Cuadro 74 Análisis de varianza de un factor por medio de R Studio y diferencia de medias en la determinación de aceptación de las distintas variables.....	107
Cuadro 75 Resumen de nivel promedio de aceptación de cada atributo.....	107

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Contenedores de subproducto bagazo húmedo de cerveza.....	1
Figura 2	Clasificación de la cebada según la cantidad de hileras. ....	10
Figura 3	Estructura del grano de cebada.....	11
Figura 4	Escala de color de Lovibond.....	12
Figura 5	Cuadro de Resumen de los colores de la cerveza según los Métodos SRM, EBC y Lovinbond.....	13
Figura 6	Análisis general del proceso de producción de cerveza. ....	16
Figura 7	Bagazo de cerveza obtenido después del proceso de filtrado.....	18
Figura 8	Contenido de aminoácidos en el bagazo de cerveza.....	21
Figura 9	Gráfico de actividad de agua. ....	24
Figura 10	Esquema de decisión para clasificación para residuos o subproductos proveniente de los procesos de producción y cuál es el régimen jurídico aplicable en cada etapa. ....	30
Figura 11	Evolución del concepto de "Desarrollo Sostenible" y camino al concepto de "Economía circular".....	31
Figura 12	Bucle de economía circular .....	32
Figura 13	Diagrama de tecnología para la producción de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza sin proceso térmico. ....	43
Figura 14	Diagrama de flujo de ingeniería para la producción de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza sin proceso térmico. ....	43
Figura 15	Diagrama de tecnología para la producción de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza con proceso térmico .....	44
Figura 16	Diagrama de flujo de ingeniería para la producción de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza con proceso térmico .....	44
Figura 17	Comparación microbiológica entre un proceso con tratamiento térmico (CT) y sin tratamiento térmico (ST).....	45
Figura 18	Diagrama de pie para factores proximales de la harina de cebada malteada caramelo en base seca.....	47
Figura 19	Diagrama de pie para factores proximales de la harina de cebada malteada base en base seca.....	47
Figura 20	Diagrama de pie para factores proximales de la harina de cebada malteada roja en base seca.....	48
Figura 21	Diagrama de pie para factores proximales de la harina de cebada sin proceso de malteado. ....	48
Figura 22	Granulometría de la harina de cebada malteada con molino. ....	50
Figura 23	Granulometría de la harina de cebada malteada con molino y ciclón. ....	50
Figura 24	Tanques de almacenamiento del bagazo húmedo de cerveza posterior al filtrado del mosto. Proceso según la cervecería.....	65
Figura 25	Recipientes de plástico tipo lechero para movilizar la muestra de bagazo de cerveza congelado. La fotografía fue tomada en el cuarto congelado de la planta de alimentos del CIT de la Universidad del Valle de Guatemala. ....	65
Figura 26	Pasteurización en ollas del bagazo de cerveza, 85°C - 95°C por 25 min. ....	66
Figura 27	Deshidratación del bagazo de cerveza en el deshidratador de gabinete en la UVG. ....	66

Figura 28 Molino y ciclón marca FOSS clyclotec TM 1093, ubicado en el laboratorio de química de alimentos de la UVG.....	67
Figura 29 Batería de confirmación de <i>Escherichia Coli</i> para confirmar la ausencia en muestras de bagazo. ....	67
Figura 30 Siembra de <i>Salmonella</i> control en agar XLD y Hektoen para confirmar ausencia en muestra de bagazo de cerveza. ....	68
Figura 31 Incubación de <i>Salmonella</i> en caldo lactosado para confirmación de ausencia en muestras de bagazo de cerveza.....	68
Figura 32 Resultados para ausencia de <i>Salmonella</i> en agar XLD y Hectoen. En ella se observa la comparación de la muestra control de <i>Salmonella</i> con respecto a las muestras sembradas. ....	69
Figura 33 Muestras sospechosas de <i>Salmonella</i> positivo. Las cuales fueron descartadas según los resultados de las baterías.....	69
Figura 34 Baterías para comprobar <i>Salmonella</i> en muestras sospechosas.....	70
Figura 35 Comparación de <i>Salmonella</i> positivo para las baterías sospechosas con antisuero, las muestras no contenían <i>Salmonella</i> . ....	70
Figura 36 Harinas obtenidas del bagazo de cerveza de las diferentes cebadas malteadas evaluadas. ....	71
Figura 37 Análisis de granulometría para las muestras de harinas. ....	71
Figura 38 Gráfica de porcentaje de humedad con respecto al tiempo para cada uno de los gabinetes del secador de cardamomo, secados a una temperatura entre 55°C y 65°C con un flujo de aire de 1.19m/s a 35.7°C.....	74
Figura 39 Capacidad de retención de solventes para ácido láctico al 5% (p/p). ....	83
Figura 40 Capacidad de retención de solventes para agua destilada.....	84
Figura 41 Capacidad de retención de solventes para sacarosa 5% (p/p). Fuente de elaboración propia. ....	85
Figura 42 Capacidad de retención de solventes para Carbonato de sodio al 5% (p/p). Fuente de elaboración propia.....	86
Figura 43 Vista del cuestionario utilizado para el panel sensorial. ....	90
Figura 44 Kit para análisis sensorial. ....	94
Figura 45 Porcentaje de asistencia al panel según el género.....	98
Figura 46 Frecuencia de consumo de los panelistas evaluados en el panel sensorial. ....	99
Figura 47 Edad de los panelistas evaluados en el panel sensorial. ....	100
Figura 48 Diagrama de caja y bigotes para el atributo de aceptación general para las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.....	101
Figura 49 Diagrama de cajas y bigotes para el atributo Apariencia de las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo. ....	102
Figura 50 Diagrama de caja y bigotes para el atributo Color de las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.....	103
Figura 51 Diagrama de caja y bigotes para el atributo de Olor de las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.....	104
Figura 52 Diagrama de caja y bigotes para el atributo Sabor en las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.....	105
Figura 53 Diagrama de caja y bigotes para el atributo Textura en las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.....	106

## RESUMEN

La presente investigación propone un método para transformar el bagazo de cerveza, uno de los principales subproductos obtenidos de la industria Cervecería, en una harina con alto contenido de proteína y fibra, que pueda ser apto para el consumo humano. Esto mediante el desarrollo y caracterización fisicoquímica, microbiológica, nutricional y sensorialmente de la harina de bagazo de cerveza o harina de cebada malteada. El bagazo de cerveza fue obtenido de una cervecería artesanal situada en la Antigua Guatemala.

El proceso de elaboración de la harina consistió en recolectar la muestra de cebada malteada directamente de la cervecería artesanal. La cual fue congelada y transportada en contenedores de plástico hacia la planta piloto ingeniería en alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala, ubicada en el Centro de Innovación y Tecnología (C.I.T). Se pasteurizó a 85°C por 25 min, se centrifugó para eliminar el exceso de agua contenida, se desecó en un deshidratador de gabinete. Y por último se molió hasta obtener una harina de diámetro de partícula menor a 0.25 25mm

Al bagazo de cerveza fresco se evaluó fisicoquímica y microbiológicamente. Las características fisicoquímicas del bagazo de cerveza fueron las siguientes: porcentaje de humedad 72.55% en base húmeda, 5.71% en base seca, actividad de agua de 0.941, carbohidratos 28.34%, fibra dietética 31.36%, proteína 18.27%, cenizas 3.62%, y grasa 13.36% una densidad de 460 kg/m<sup>3</sup>. El proceso de pasteurización logro disminuir la carga microbiológica inicial, pero no lo suficiente para garantizar la inocuidad de la materia prima debido a que la carga microbiana del bagazo de cerveza es muy alta. Se recomienda un proceso de esterilización y agregar al proceso de producción de cerveza un paso de obtención en donde se logre recuperar el bagazo de cerveza con la mínima contaminación posible.

Se evaluaron 3 bagazos de cerveza procedentes de diferentes clases de malta: malta base (que tiene un malteado leve), malta roja (que tiene un malteado intermedio) y malta caramelo (malteado fuerte). Sus resultados fisicoquímicos fueron los siguientes: La harina de cebada malteada base se considera estable debido a su baja actividad de agua 0.508, densidad de 450 kg/m<sup>3</sup>, humedad de 5.41%, proteína 22.04%, grasa 8.45%, cenizas, 3.69%, fibra cruda 0.01%, fibra dietética 34.89% y carbohidratos con 25.50%. La harina de cebada malteada roja tiene actividad de agua de 0.661, porcentaje de humedad de 8.45%, proteína de 22.86%, grasa 7.44%, cenizas 3.49%, fibra cruda 0.02%, fibra dietética 35.24% y carbohidratos con 22.49%. La harina de cebada malteada caramelo posee una actividad de agua de 0.571, una densidad de 490 kg/m<sup>3</sup>, humedad de 6.88%, proteína de 20.20%, grasa de 6.27%, cenizas de 3.37%, fibra cruda de 0.57%, fibra dietética de 39.36% y carbohidratos 23.61%.

En el análisis sensorial realizado al producto elaborado con harina de cebada malteada se obtuvo una aceptación media, con una calificación de “me gusta un poco”, para los brownies elaborados con harina de cebada malteada y los brownies elaborados a partir de harina de trigo. Teniendo una mejor aceptación en cuanto a olor, que la harina de trigo, esto se debe a que la harina de cebada malteada brinda olores dulces procedentes del proceso de tueste y malteado del grano.

# I. INTRODUCCIÓN

Por cada hectolitro de cerveza se producen 20 kg de bagazo de cerveza. Guatemala produce 13,520,000 L/año de cerveza con una producción constante equivalentes a 2,600,000 kg/año bagazo de cerveza. El cual es tratado como residuo por a su alto contenido humedad y en una mínima parte es brindado como alimento animal.

El bagazo de cerveza es la fase sólida obtenida del proceso de filtración, está conformado por el salvado y las proteínas restantes del proceso de maceración. Siendo el bagazo de cerveza el subproducto más importante del proceso de elaboración de la cerveza debido a su volumen y a las propiedades fisicoquímicas importantes como contenido de fibra, proteína y bajo contenido de carbohidratos.

El objetivo de este trabajo de graduación fue proponer un método para transformar el bagazo de cerveza en una harina con bajo contenido de humedad, rica en fibra y proteína que ayude a satisfacer las necesidades nutricionales de la población guatemalteca, mediante la aplicación de economía circular. El bagazo de cerveza fue recolectado de una cervecería artesanal ubicada en Camino a San Miguel Dueñas, Ciudad Vieja.

La importancia sobre la reincorporación del bagazo de cerveza a procesos productivos surge a raíz de políticas que limitan el uso de desechos. En los estudios realizados se ha demostrado que la harina de bagazo de cerveza posee beneficios significativos en comparación con el grano de cebada sin tratar.

Un estudio previamente realizado sobre la utilización del bagazo cervecero como alimento para ganado en Guatemala, concluye que el acceso es limitado porque el transporte en húmedo es complicado y costoso, además solo los ganaderos aledaños a las cervecerías pueden acceder a él. Siendo el mayor problema la vida útil y la accesibilidad.

El proceso de elaboración de la harina de cebada malteada fue el siguiente: la obtención del bagazo de cerveza, pasteurización, centrifugación, deshidratación y molienda. Es un producto bajo en carbohidratos, altos en fibra, proteína. Su color varía según el color de la malta utilizada y puede ir desde colores blancos, rojos hasta colores oscuros acaramelados. Posee un olor dulce y tiene la cualidad de formar gluten. Al ser un producto con una actividad de agua baja tiene mayor vida útil lo cual permite más accesibilidad.

## II. ANTECEDENTES

### A. Industria cervecera en Guatemala

En Guatemala se pueden mencionar alrededor de 14 cervecerías, de las cuales 12 son cervecerías artesanales como: Antigua cerveza, Cervecería 14, El Príncipe Gris, Ave Indiana Brewing Company, Xamán Cerveza Artesanal, Cerveza Güin, Cervecería Pantera, Sapiens Cerveza, Grupo Cervezero Artesanal de Centroamérica, Cervezas Ixbalanque, cervecería San roque Cervecería el Zapote, y dos cervecerías industriales como la cervecería centroamericana y la cervecería Ambev.

De acuerdo con la cifra de la gremial de licores el guatemalteco consume alrededor de 27.5 litros *per cápita* anuales de bebidas alcohólicas. Convirtiendo a Guatemala en el mayor consumidor de cerveza de Centroamérica. La cerveza el equivalente al 90% del consumo total.

Durante el periodo de cuarentena por Covid-19 se observó un aumento en el consumo de bebidas alcohólicas a nivel mundial, tan solo en Guatemala el consumo de bebidas alcohólicas aumento un 8% (Bin, 2020). *“La industria cervecera en la región centroamericana y el caribe se encuentra en un buen momento de dinamismo y crecimiento por encima de las demás categorías de alcohol. Al mismo tiempo, muestra un crecimiento por encima del promedio de la industria cervecera a nivel mundial”* estas fueron las palabras del director general para la unidad de negocios de Centroamérica y el Caribe AB InBev, el mayor fabricante a nivel mundial de cerveza (Forbes Staff, 2019).

### B. Disponibilidad de bagazo de cerveza

Las cervecerías producen afrecho según su capacidad de producción y la demanda de las bebidas. Las cervecerías artesanales tienden a producir en menor cantidad y frecuencia que las cervecerías industrializadas, pues se estima que en una temporada de alta demanda la cervecería artesanal produzca de una a dos veces por semana, mientras que la cervecería industrial produzca varios cocimientos en el día.

En promedio por cada 100 L de cerveza se generan 20 kg de bagazo, representando el 85% del total de subproductos generados. La cervecería artesanal con la que se trabajó realizaba cocimientos cada 15 días, produciendo de 5 a 8 toneles de bagazo. La cantidad de bagazo generado depende del tipo de cerveza fabricada. Debido a la popularidad de la cervecería, se estima que para 2022 se amplie la capacidad de producción.

Una vez obtenido el bagazo de cerveza fue colocado en recipientes de plástico tipo toneles o en áreas destinadas para su almacenamiento a granel. Esas áreas están ubicadas al aire libre en la parte posterior fuera del proceso de producción, son de fácil acceso de carga-descarga y despacho a ganaderos en pickups o en camiones.

El precio puede variar según el proveedor, por ejemplo, el precio de una pickupada obtenida de la cervecería centroamericana tiene un valor de Q 32.50. Mientras que en una cervecería artesanal los precios son por toneladas, 8 toneladas de afrecho pueden costar hasta Q400.00. en comparación a 1 saco de concentrado de animal que puede rondar desde Q100.00 a Q300.00.

La forma de obtener el bagazo de cerveza se hace mediante la compra directa en la cervecería. Se vende por “picukpadas” o toneladas, de preferencia debe ser despachado el mismo día y/o el día siguiente de la producción para garantizar su frescura, una vez pasado los dos días comienza la degradación debido a su alto contenido de humedad y su contenido nutricional.

Los volúmenes de disponibilidad de afrecho varían de acuerdo con las épocas del año y están directamente relacionadas a la producción. En el estudio realizado por Espinoza Escobar sobre “*la caracterización de subproductos derivados de la fabricación de la cerveza destinados para la alimentación animal*” (Espinoza Escobar, 2011) en 2011, estimaba una producción anual de 2,421 toneladas métricas de afrecho provenientes de la Cervecería Centroamericana, del cual solo 120 toneladas fueron consumidas en el año como alimento para ganado, sin ningún tratamiento previo. El poco consumo se debió a la cobertura y la accesibilidad del producto pues el producto tiene que ser transportado fresco y esto solo lo garantizan si las fincas se encuentran cerca del lugar de producción.

En Guatemala el porcentaje de consumo del bagazo de cerveza como alimento animal es muy bajo debido al contenido de humedad que posee, se les dificulta a los ganaderos el transporte desde la cervecería hacia las fincas. La mayor parte de ganaderos están ubicados en el interior del país, en áreas como Jutiapa, Escuintla y Petén, versus la mayor parte de las cervecerías que se encuentran cerca de la ciudad capital.

Estudios realizados en América latina sobre el uso y manejo de los subproductos cerveceros, muestran que el bagazo de cerveza en su mayoría es utilizado como alimento de bajo valor para animales y en menor medida han estado implementando su uso en el consumo humano, producción de energía por combustión, como material adsorbente de tratamientos químicos, cultivo de microorganismos, obtención de bioproductos de fermentación, entre otros. Siendo sus principales impulsores países como Argentina y Chile. (Espinoza Escobar, 2011).

Figura 1 Contenedores de subproducto bagazo húmedo de cerveza.



En la figura, se puede apreciar la disposición de los contenedores de bagazo de cerveza procedentes de una cervecería artesanal. En el extremo izquierdo, se visualiza el área destinada al

almacenamiento de subproductos, mientras que en el derecho se observa los contenedores de bagazo de cerveza, dispuestos de forma abierta. Los cuales se cubren con tablas para prevenir la proliferación de plagas. Es importante destacar que estos contenedores se ubican en la parte posterior de la planta de producción a la par del estacionamiento.

## C. Mercado de harina en Guatemala

Las principales harinas consumidas en Guatemala son la harina de maíz, trigo y avena, las cuales son utilizadas para las tortillas con harina de maíz, para la elaboración de productos panificados con harina de trigo y la harina de avena como una de las variables en el consumo de avena dado en la canasta básica de los guatemaltecos.

El mercado de las harinas es competitivo ya que se encuentra cubierto entre empresas nacionales e internacionales. En Guatemala existen varias empresas encargadas de las harinas como lo son: Molinos Central- Helvetia, Molinos modernos, Molino Venecia S.A, empresas pioneras en el sector molinero y expertas en la producción de harinas.

Las harinas en Guatemala cumplen un papel fundamental en la economía, especialmente la harina de trigo, debido al crecimiento de industrias panificadoras y a las actividades económicas en donde se utiliza la harina de trigo como materia prima. Desde el punto de vista de importación y exportación Guatemala realiza exportaciones de productos a países de Centroamérica e importaciones de trigo por parte de países como Estados Unidos y Canadá.

En Guatemala la harina de trigo debe ser fortificada, basada en el RTCA 67.01.15:07 “Harinas. Harina de trigo fortificada. Especificaciones”. La harina de trigo fortificada es aquella que se obtiene de granos de trigo limpios, sanos, libres de impurezas o materias extrañas que alteren el producto. Dentro de las características sensoriales de la harina de trigo se puede mencionar un producto en forma de polvo, libre de terrones y exento de insectos en cualquier etapa de desarrollo, excretas de animales, parásitos y de otras materias extrañas al mismo. Su olor y sabor es característico, libre de olor o sabor amargo, rancio, mohoso o cualquier otro olor o sabor diferente al característico. El color debe ser blanco o cremoso según el tipo que corresponda, libre de coloración por actividad de microorganismos.

Los principales tipos de harina de trigo son las harinas duras y las harinas suaves. La harina dura es la harina de trigo que posee un alto rendimiento de absorción de agua, se utiliza para la elaboración de productos de panadería industrial y artesanal mientras que la harina suave es la harina utilizada en repostería y panadería de manera industrial y artesanal.

La harina de maíz nixtamalizada utilizada para la elaboración de tortillas se obtiene del grano de maíz limpio, sano, libre de impurezas o materias extrañas que alteren la inocuidad y calidad del producto. Al igual que el maíz es fortificado y se presenta en forma de polvo áspero al tacto, libre de terrones y exento de insectos. El olor y sabor es característico y debe estar libre de olor o sabores amargo, rancio, mohoso o cualquier otro sabor que sea diferente al característico. El color por lo general es blanco amarillo, pero depende del tipo de grano utilizado, no debe tener coloración por actividad microbiana. Mercado de harina en Guatemala

Las principales harinas consumidas en Guatemala son la harina de maíz, trigo y avena, las cuales son utilizadas para las tortillas con harina de maíz, para la elaboración de productos panificados con harina de trigo y la harina de avena como una de las variables en el consumo de avena dado en la canasta básica de los guatemaltecos.

El mercado de las harinas es competitivo ya que se encuentra cubierto entre empresas nacionales e internacionales. En Guatemala existen varias empresas encargadas de las harinas como lo son: Molinos Central- Helvetia, Molinos modernos, Molino Venecia S.A, empresas pioneras en el sector molinero y expertas en la producción de harinas.

Las harinas en Guatemala cumplen un papel fundamental en la economía, especialmente la harina de trigo, debido al crecimiento de industrias panificadoras y a las actividades económicas en donde se utiliza la harina de trigo como materia prima. Desde el punto de vista de importación y exportación Guatemala realiza exportaciones de productos a países de Centroamérica e importaciones de trigo por parte de países como Estados Unidos y Canadá.

En Guatemala la harina de trigo debe ser fortificada, basada en el RTCA 67.01.15:07 “Harinas. Harina de trigo fortificada. Especificaciones”. La harina de trigo fortificada es aquella que se obtiene de granos de trigo limpios, sanos, libres de impurezas o materias extrañas que alteren el producto. Dentro de las características sensoriales de la harina de trigo se puede mencionar un producto en forma de polvo, libre de terrones y exento de insectos en cualquier etapa de desarrollo, excretas de animales, parásitos y de otras materias extrañas al mismo. Su olor y sabor es característico, libre de olor o sabor amargo, rancio, mohoso o cualquier otro olor o sabor diferente al característico. El color debe ser blanco o cremoso según el tipo que corresponda, libre de coloración por actividad de microorganismos.

Los principales tipos de harina de trigo son las harinas duras y las harinas suaves. La harina dura es la harina de trigo que posee un alto rendimiento de absorción de agua, se utiliza para la elaboración de productos de panadería industrial y artesanal mientras que la harina suave es la harina utilizada en repostería y panadería de manera industrial y artesanal.

La harina de maíz nixtamalizada utilizada para la elaboración de tortillas se obtiene del grano de maíz limpio, sano, libre de impurezas o materias extrañas que alteren la inocuidad y calidad del producto. Al igual que el maíz es fortificado y se presenta en forma de polvo áspero al tacto, libre de terrones y exento de insectos. El olor y sabor es característico y debe estar libre de olor o sabores amargo, rancio, mohoso o cualquier otro sabor que sea diferente al característico. El color por lo general es blanco amarillo, pero depende del tipo de grano utilizado, no debe tener coloración por actividad microbiana

### III. JUSTIFICACIÓN

La industria de alimentos tiene como objetivo satisfacer los hábitos modernos con la finalidad de transformar y conservar materiales y productos destinados para la alimentación. Conforme se han incrementado los avances científicos y la tecnología la necesidad de alimentación a la población humana se ha beneficiado mediante la producción de manera más eficiente.

Con el paso del tiempo se ha ido adaptando con el fin de satisfacer la necesidad de producir alimentos para consumo humano. Pero en la actualidad ya no solo está en juego el alimentar a la población, sino también velar por el cuidado del medio ambiente y disminuir el impacto de la industria en el ambiente. El medio ambiente es la principal fuente de materias primas para la producción de alimentos como el agua y tierra de producción de diversos cultivos. Problemas como la reducción de pérdidas y desperdicios de alimentos, la ineficiencia en los procesos de producción, el tratamiento de residuos producidos, la contaminación por plásticos de un solo uso, la generación de gases de efecto invernadero, entre otros son temas que poco a poco han ido tomando relevancia en los últimos años debido a la situación medioambiental en la que se encuentra actualmente el planeta.

La economía, la sociedad y el medio ambiente son considerados como tres factores totalmente diferentes pero esenciales para el desarrollo, mediante el modelo de economía lineal. La economía lineal es el modelo económico mayormente utilizado alrededor del mundo, se basa en la obtención y utilización de recursos naturales para la producción de productos, los cuales después de cumplir con su función en cierto tiempo, terminan desechados en forma de basura y reemplazado por otro. Cabe mencionar que este modelo a pesar de ser muy utilizado ya no es factible considerando principalmente el factor ambiental, razón por la cual poco a poco se ha ido introduciendo el término de reciclaje y ha ido evolucionando hacia la economía circular. El reciclaje como su nombre lo indica “es el proceso de convertir residuos en nuevos productos o en materia prima para su posterior utilización”. El residuo es la parte o porción resultante del proceso de fabricación, transformación o utilización de consumo, de limpieza o mantenimiento generados por una actividad, que se tenga la intención o la obligación de desechar. Pero ¿de qué me sirve utilizar algo que según su definición ya no sirve?

El reciclaje ya no es la solución a la problemática medioambiental, pero si forma parte de ella. “Si todas las personas en el mundo reciclaran, el problema no desaparecería, si no seguiría aumentando”, porque se sigue generando residuos. La solución está en no generar más de lo que no podemos ocupar. Pero para esto se requiere un cambio de perspectiva especialmente en cuanto a hábitos, forma de pensar y hacernos responsables.

Poco a poco la economía ha ido evolucionando conforme el paso de los años y con ello se han creado modelos de negocios en donde se incorpora el reciclaje como la solución a estos problemas medioambientales, pero como dijimos anteriormente el reciclaje ya no es la solución, por ello a partir de los años 90 la idea de reciclaje se fue incorporando a los modelos de negocio a tal forma que el ambiente, la sociedad y la economía se vean como uno solo y no como tres

factores diferentes que está con relacionados entre sí. Danto pasó a lo que actualmente se llama “Economía circular”. La economía circular tiene como fin utilizar todos aquellos subproductos

de algún proceso y convertirlos en materia prima de otros, eliminando la idea de generar basura. Los subproductos son cualquier sustancia u objeto, resultante de un proceso productivo el cual no tiene como objetivo final la producción de esta sustancia u objetivo, pero que no genera impactos adversos a la salud humana o al medio ambiente. Esto hace sentido, ¿no? El utilizar algo que ya está en la industria y transformarlo en un producto nuevo.

Es del concepto de economía circular de donde nace la idea de utilizar los subproductos provenientes de la industria cervecera para la elaboración de alimentos, ahorrándonos el tema de la extracción de recursos naturales para la obtención de la materia prima, ahorrándonos consigo un paso en el proceso y utilizar algo que ya ha sido procesado y seguir procesando a medida de no generar residuos.

Se pensó en el bagazo de cerveza o malta cervecera, ya que representa el 85% del total de subproductos generados en el proceso de elaboración de cerveza, Guatemala es un país cervecero; actualmente el guatemalteco consume alrededor de 27.5 litros per-cápita anuales de bebidas alcohólicas, siendo la cerveza el equivalente al 90% del consumo total (Bin, 2020). La utilización de este producto ayuda a disminuir impactos generados como la producción de gases de efectos invernaderos como el metano generado por el proceso de putrefacción de este, que tanto afectan al medio ambiente, además la industria cervecera lo considera un problema debido la generación de olores desagradables y atracción de plagas. Es un subproducto con alto contenido de fibra y proteínas que son dos componentes demandados para la producción de alimentos.

Incluso con respecto a la situación del Covid-19 se observó un aumento del 8% en la frecuencia de consumo de bebidas alcohólicas. A mayor demanda mayor producción y a mayor producción mayor contenido de bagazo de cerveza, por lo tanto, se obtiene como materia prima durante todo el año; ya que en promedio una cervecería industrial genera 20 kg de bagazo de cerveza por cada 100 L de cerveza.

El bagazo de cerveza o malta cervecera se obtiene como un subproducto húmedo tras el prensado y filtrado de la cerveza para la producción del mosto. El contenido de humedad del bagazo de cerveza se encuentra entre el 80 y 85% siendo susceptible al deterioro en menos de 24 horas. Por lo cual se pensó en la elaboración de un producto a base de harina de cebada malteada integral, en donde se busca aprovechar las propiedades de la harina como proteína y fibra en un producto de repostería.

La harina de bagazo de cerveza se obtendrá mediante un proceso de deshidratación por convección, seguido de triturado y tamizado. La harina de bagazo de cerveza posee alto de proteínas y fibra en comparación a las harinas de otros granos como el maíz, el trigo, el arroz y la cebada (sin maltear) que son ricos en carbohidratos, lo cual lo hace una materia prima interesante para consumo humano, ya que según las últimas tendencias las personas buscan productos con mayor contenido de proteína para incorporar a las dietas cetogénicas sin que afecten los picos de azúcar en sangre.

El bagazo de cerveza ha sido utilizado alrededor del mundo para diversos fines, como sustituto o como una alternativa al maíz en concentrados para alimentación animal, donde el maíz es el grano utilizado por excelencia, pero no se encuentra disponible en todo el año, especialmente en épocas de verano por escasez de agua. También se ha utilizado en alimentos para humanos como en bebidas y barras de granola, como sustratos o medio para producción de

enzimas en biorreactores. En la industria de construcción, como sustitutos de cascarilla de arroz, la cual es utilizada para la elaboración de ladrillos, pero no se encuentra disponible en todas las épocas del año. Como biomasa para la producción de energía, entre otros. De los cuales en Guatemala solo se utiliza en mínima cantidad como alimento para ganado lechero, de ahí el resto es procesado como un desecho y vertido como basura.

Además, la utilización del bagazo de cerveza para la elaboración de harina de mezclas de panadería fina por medio de la implementación de economía circular va de la mano con los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) especialmente los relacionados con agua limpia y saneamiento, trabajo decente y crecimiento económico y producción y consumos responsables (no. 6, 8 y 12); establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para el desarrollo (PNUD) para el año 2030.

La producción y consumo responsable mediante el cambio de métodos de producción y consumo de bienes y recursos de manera más eficiente, ya que al utilizar el bagazo de cerveza se disminuye la extracción de recursos naturales para obtención de materia prima, como lo sería el cultivo del grano en tierras fértiles, el consumo de agua necesario para su producción, disminuyendo los desperdicios producidos de la industria cervecera, satisfaciendo así necesidades básicas del ser humano como lo es la alimentación de manera segura y eficiente. Además, el desarrollo de este tipo de productos genera la creación de negocios con economía circular en Guatemala y con ello empleo.

Con el fin de apoyar al cumplimiento de los ODS 2030 el equipo Breart en comunión con cervecerías artesanales ha decidido empezar a generar empresas con identidad basada en economía circular, social y sostenible, mediante el desarrollo de un producto alimenticio para consumo humano el cual utilizará como materia prima base el bagazo de cerveza. Siendo esta una propuesta para la generación de alimentos de manera sostenible y medioambientalmente amigable en Guatemala, con la cual se espera que pueda ayudar en el cumplimiento de los ODS propuestos para el año 2030 en el país.

El principal objetivo principal de este proyecto es procesar el bagazo húmedo de cerveza obtenido como subproducto del prensado y filtrado para la obtención del mosto cervecero y así convertirlo en harina, la cual se caracterizará desde el punto de vista nutricional, microbiológico, fisicoquímico y sensorial. Harina con el cual se desarrollará un producto alimenticio

## **IV. OBJETIVOS**

### **A. GENERAL**

Desarrollo y caracterización fisicoquímica, microbiológica y sensorial de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza.

### **B. ESPECÍFICOS**

1. Proponer un proceso de obtención de harina de bagazo de cerveza.
2. Analizar proximal, fisicoquímica y microbiológicamente el bagazo de cerveza.
3. Caracterizar fisicoquímicamente la harina de cebada malteada elaboradas con malta Base, Caramelo y Roja.
4. Evaluar la aceptación de la harina de cebada malteada con respecto a la harina de trigo por medio de análisis sensorial.

## V. MARCO TEÓRICO

### A. Proceso de elaboración de la cerveza y generación del bagazo de cerveza

Para el desarrollo de la harina de cebada malteada, es esencial comprender el proceso de elaboración de cerveza, ya que utiliza como materia prima el grano de cebada malteada, el cual se convierte en el bagazo de cerveza tras la obtención como la fase sólida de la filtración del mosto antes de la fermentación de la cerveza.

El bagazo de cerveza es un subproducto del proceso de elaboración de la cerveza, se utiliza como materia prima para la elaboración de la harina de cebada malteada. Este proceso es fundamental para comprender la cadena de producción y las propiedades de la harina de cebada malteada, lo que contribuirá a una comprensión integral de su aplicación en diversas industrias alimentarias y de bebidas.

#### 1. Definición general de cerveza según regulación guatemalteca

Por definición la cerveza es una bebida alcohólica fermentada obtenida por la fermentación de un mosto con levadura cervecera. El mosto es preparado con agua potable, malta de cebada, adjuntos, lúpulo o sus extractos naturales. Según la norma guatemalteca obligatoria COGUANOR NGO 33 006 “Bebidas alcohólicas fermentadas. Cerveza. Especificaciones.” y se rige en el RTCA para los aditivos utilizados en su proceso de fabricación. Es clasificada en el subgrupo 14.2.1 Cerveza y bebidas a base de malta. Dentro de los tipos de cerveza se pueden mencionar la cerveza amarga, cerveza oscura, cerveza blanca (*Weiss beer*), cerveza Pilsener, cerveza rubia, *Oud Bruin*, *Obergariges Einfachbier*, cerveza ligera, cerveza de mesa, licor de malta, cerveza porter, cerveza fuerte (stouft) y extrafuerte (*Barley wine*).

#### 2. Insumos para la fabricación de la cerveza

Entre los ingredientes principales utilizados en la preparación de la cerveza se encuentran: la malta, agua, lúpulo, levadura, adjuntos (otras fuentes de almidón) y azúcar. Cada uno desempeña un papel importante para la obtención de un producto de calidad.

##### a. Malta

Se le conoce como malta al grano de cebada parcialmente germinado y secado de manera controlada, mediante condiciones tecnológicas adecuadas capaz de aportar nutrientes como almidón, proteínas, enzimas que contribuye en el color, sabor y contenido de alcohol de la cerveza final. El malteado se puede hacer con cualquier cereal que posea almidón y sea susceptible a la germinación. Generalmente se utiliza la cebada debido a que posee de un 60 a 65% de almidón. Cualquier otro cereal sometido al proceso de malteo deberá denominarse “malta de ...” Seguido del nombre del cereal.

### 1) Principales países productores de cebada

La cebada es la principal materia prima en el proceso de producción de cerveza. Se produce alrededor del mundo con un aproximado de 155.84 millones de toneladas anuales; siendo la unión europea el mayor productor de cebada a nivel mundial con 63,100,000 toneladas métricas, seguido de Rusia con un volumen de 20,600,000 toneladas métricas por año, seguido de Australia con una producción anual de 11,000,000 toneladas (Micolucci, 2019).

El 80% de los productores de cebada a nivel mundial pertenece a la Unión Europea, Rusia, Australia, Canadá, Turquía, Ucrania, Kazakstán e Irán. La cebada también es cosechada en el continente americano por grandes productores como Canadá, Argentina, Estados Unidos, México, Uruguay, Brasil, Chile, Perú, Bolivia, Colombia, Ecuador. En Guatemala no se produce cebada.

### 2) Condiciones de cultivo del grano

El grano de cebada puede ser cultivado en cualquier clima, especialmente en los frescos y moderadamente secos, en temperaturas que van desde los 6°C hasta los 20°C, ya que necesita una temperatura mínima de germinado de 6°C, temperatura de florecimiento de 16°C y maduración a 20°C. Puede soportar bajas temperaturas hasta -10°C. En cuanto al suelo requiere de tierras fértiles, arcillosos, húmedos y encharcados. Una de las ventajas de la cebada es que en el inicio de su desarrollo exige una mayor cantidad de agua comparado con su etapa final, lo que lo hace menos frecuente al riesgo de asurado. Por este mismo motivo se dice que la cebada es mucho más resistente a la sequía que el trigo.

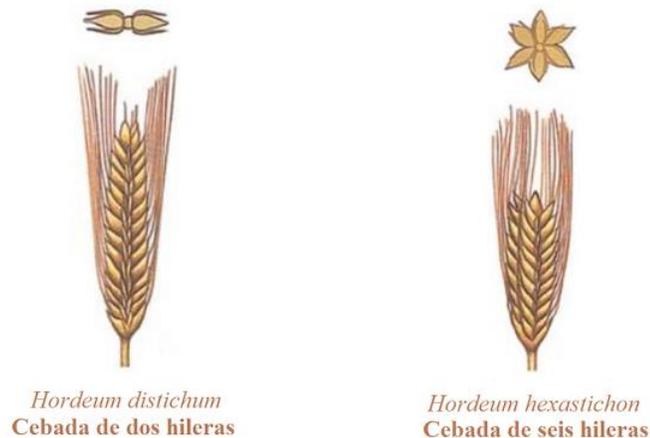
### 3) Planta de cebada

La cebada es una hierba del género *Hordeum* perteneciente a la familia de las gramíneas. Ha sido utilizada durante muchos años para la elaboración de cerveza debido a su alto contenido de almidón, que da origen a todos los azúcares fermentables del mosto y proteínas para producir los aminoácidos necesarios para el crecimiento de la levadura y las sustancias nitrogenadas que desarrollan un papel importante en la espuma de la cerveza.

Existen distintas variedades de cebada, las cuales difieren en su forma y en sus características fisiológicas. La cebada se puede clasificar según la cantidad de granos en la posición del tallo siendo de dos o 6 hileras en *hordeum distichum* y *hexastichon* respectivamente. Las *hordeum distichum* es el tipo más apto para la elaboración de cerveza ya que posee mayor cantidad de azúcares fermentables y proteínas gracias a su alto contenido de enzimas y las de 6 hileras la *Hordeum hexastichon* que es utilizada para preparar cervezas con adjuntos debido a la carencia de enzimas propias.

Figura 2 Clasificación de la cebada según la cantidad de hileras.

## CLASIFICACIÓN DE LA CEBADA



Fuente Ramos Gil y Jiménez Piqué (2018). En la Figura 2 se observa los diferentes tipos de cebada, del lado izquierdo la *hordeum distichum* o cebada de dos hileras y a la derecha la *Hordeum hexastichon* cebada de 6 hileras.

### 4) Grano de cebada

El grano de cebada posee dos películas que envuelven las partes principales del grano, el salvado, el germen y el endospermo (ver Figura 3).

#### a. Salvado

El salvado o cáscara es la capa externa del grano y está compuesta por varias capas que recubren el resto de la semilla como la cáscara, el pericarpio y la capa de aleurona. Protege al grano de la luz solar, agua y enfermedades. Esta parte del grano es la encargada de dar fibra, vitaminas y minerales.

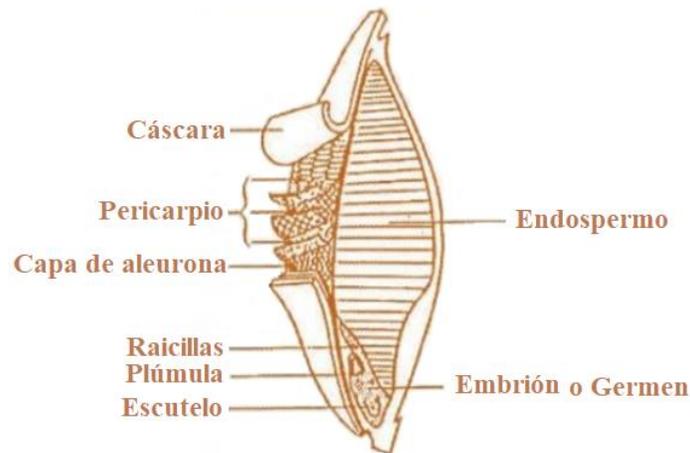
#### b. Germen

El germen también conocido como embrión es el componente menor del grano y se encuentra en la parte interna. Está compuesta por las raicillas, plúmula y el escutelo. Esta parte aporta antioxidantes, fitonutrientes, nutrientes como proteínas y minerales.

#### c. Endospermo

El endospermo representa el 85% del peso del grano y es la porción más grande. En esta parte del grano se encuentra el almidón duro e insoluble protegido por pequeños compartimientos. En esta parte se pueden encontrar los carbohidratos y proteínas.

Figura 3 Estructura del grano de cebada.  
**ESTRUCTURA DEL GRANO DE CEBADA**



Fuente: Jamamillo Valdez (2019). El pericarpio es la capa del fruto y está compuesto de la capa de la semilla con la superficie interior y exterior o testa. La capa de aleurona es la fuente de enzimas. Las raicillas, plúmula y escutelo forman parte del embrión.

Cuadro 1 Composición bromatológica de los cereales trigo, centeno, maíz, avena y arroz.

Porcentaje (% p/p)	Trigo	Centeno	Maíz	Cebada	Avena	Arroz
Humedad	13.2	13.7	12.5	11.7	13.3	13.1
Proteína	11.7	11.6	9.2	10.6	12.6	7.4
Fibra Bruta	2	2.1	2.2	1.6	2.6	0.7
Lípidos	2.2	1.7	3.8	2.1	5.7	2.4
Cenizas	1.5	1.9	1.3	2.3	2.9	1.2
Carbohidratos totales	69.3	69	71	71.8	62.9	75.4
<b>Total</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Fuente: (Jamamillo Valdez, 2019). Según el Cuadro de composición bromatológica se observa que el grano de cebada y maíz son los de mayor contenido de carbohidratos totales.

Cuadro 2 Contenido de vitaminas de los cereales trigo, centeno, maíz, cebada, avena y arroz.

Vitaminas (Mg/kg)	Trigo	Centeno	Maíz	Cebada	Avena	Arroz
Riboflavina	1.3	1.8	1.3	2.2	1.8	0.6
Tiamina	5.5	4.4	4.6	5.7	7	3.4
Ácido pantoténico	13.6	7.7	5.9	7.3	14.5	7
Niacina	63.6	15	26.6	64.5	17.8	54.1

Fuente: (Jamamillo Valdez, 2019). Se observa el contenido de vitaminas en los cereales, especialmente el contenido de tiamina, niacina, riboflavina y ácido pantoténico en la cebada

## 5) Proceso de germinación controlada o Malteo

El proceso de malteado consiste en germinar, secar y tostar el grano bajo ciertas condiciones de tiempo, temperatura y humedad para que el almidón contenido en el endospermo se transforme en azúcares más simples y fermentables como lo son la maltosa y glucosa, mediante la acción de enzimas hidrolíticas como la diastasa y la maltasa.

En este proceso se generan residuos que no son utilizados en la producción de la cerveza como el germen, cebada no malteada, cebada de tercera, residuos de limpieza (Cisneros Arias, 2019). El color de la cerveza está directamente relacionado con el color proveniente del tueste del grano durante el proceso de malteado.

## 6) Métodos de medición de color de la malta

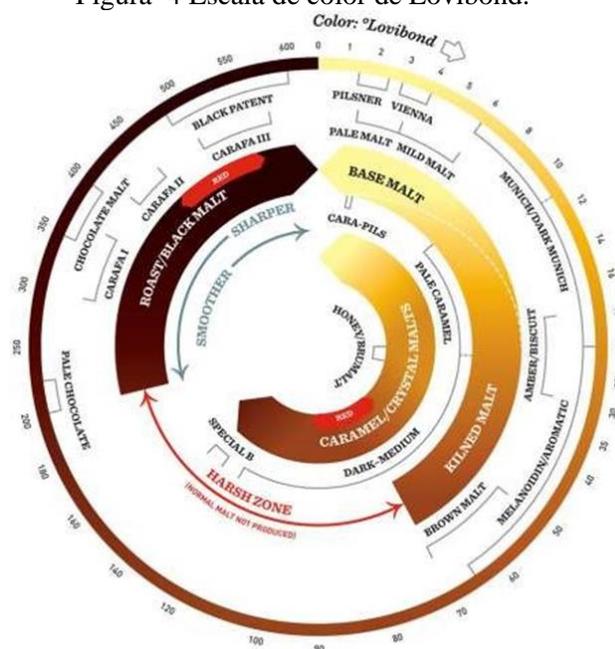
Condiciones controladas de tiempo, temperatura y nivel de humedad aplicada al grano malteado durante el tueste provoca diferencias fisicoquímicas como color, olor y sabor a la cerveza. A lo largo de la historia se han inventado varios métodos de medición para determinar el color de la malta dentro de los cuales se puede mencionar: los grados Lovibond, SRM y EBC. Las cuales se expresan en unidades de color de malta o MCU's por sus siglas en inglés Malt Color Units o MCU's.

La escala de color Lovinbond (°L) fue creada por el inglés J.W. Lovinbond a finales del siglo IX con el objetivo de medir el color de la cerveza su escala de tonalidades graduadas va desde 0 a 20. Este método fue adaptando para determinar el color de las maltas, siendo los valores más bajos correspondientes a maltas más claras y los más elevados a las maltas más oscuras. Consiste en una serie de filminas coloreadas y graduadas, en donde el color de la cerveza es medido por comparación (ver Figura 4). Este es un método que poco a poco ha ido en desuso debido a que el resultado depende de la percepción del operario. Actualmente se utiliza para expresar el color de la malta.

El método SRM es el acrónimo para Standard Reference Method, fue creado en 1950 por la Sociedad Americana de Químicos Cerveceros o ASBC (American Society of Brewing Chemists). Este método se basa en la utilización de un espectrofotómetro con el fin de no depender de la percepción del operario con respecto al color siendo más eficiente.

El método EBC por sus siglas European Brewey Convention, también utiliza un espectrofotómetro y numéricamente la unidad de EBC equivale a 2 unidades de SRM.

Figura 4 Escala de color de Lovibond.



Fuente: Ramos Gil y Jiménez Piqué (2018).

Figura 5 Cuadro de Resumen de los colores de la cerveza según los Métodos SRM, EBC y Lovinbond.

Denominación	Color	SRM	EBC
Amarilla		< 4	< 8
Rubia		4 – 6	8 – 12
Dorada		6 – 10	12 – 20
Ámbar-Rojiza		10 – 15	20 – 30
Caramelo-Cobrizo		15 – 20	30 – 40
Tostada-Marrón		20 – 30	40 – 60
Negra		>30	>60

Fuente: Picón Sánchez (2020). En la Figura 5 se puede observar al color de la escala Lovinbond al dato que corresponde en los métodos SRM y EBC. En el Cuadro 4 se aprecian las conversiones para cada una de las escalas.

Cuadro 3 Métodos de conversión de color de la cerveza y malta.

EBC a SRM	$SRM = EBC * 0.508$
SRM a EBC	$EBC = SRM * 1.97$
°L a SRM	$SRM = (1.3546 * °L) - 0.76$
SRM a °L	$°L = \left( \frac{SRM + 0.76}{1.3546} \right)$

Fuente: Principios de elaboración de cervezas artesanales (2017) (González G., 2017).

## 7) Variedades de malta

Según el color se pueden mencionar tres tipos: malta base, malta tostada y malta caramelo.

### a) Malta base

Las maltas base son las más claras de todos, representan la mayor proporción de malta de una cerveza. Son elaboradas a temperaturas bajas y corta duración de horneado, lo cual permite retener la mayor parte de los azúcares y contener el mayor poder diastásico de todas las maltas. Son capaces de transformar sus propios almidones y los de las maltas con menor poder diastásico (Ramos Gil & Jiménez Piqué, 2018).

### b) Malta tostada

Las maltas tostadas son elaboradas a partir de hornear la malta totalmente seca a temperaturas superiores de 170°C las cuales a mayor temperatura mayor reacción de Maillard se produce, provocando sabores tostados, a nuez o galleta y colores oscuros entre media y total (Ramos Gil & Jiménez Piqué, 2018).

### c) Maltas caramelo

Las maltas *Caramel* o maltas *Cristal*. Son elaboradas a partir de malta verde sin secar la cual pasa directamente al proceso de tostado escalonado al finalizar la germinación. Para esto se calientan los granos a 65-70°C durante hora y media con el fin de activar las enzimas diastáticas, después se calienta a 150-180°C para que el interior del grano se caramelicé. El tiempo influye en el color que se quiera obtener y el sabor que aporta a la cerveza.

b) Adjuntos cerveceros

Según la norma COGUANOR NGO 33 006 para bebidas alcohólicas fermentadas. Adjunto es toda fuente donadora de almidón o azúcares fermentables. Generalmente son cereales como trigo, avena, maíz y centeno. Debido a su cantidad de almidones y azúcares de origen vegetal brindan estabilidad a la espuma, añaden sabores a la cerveza y aumentan la densidad de la bebida. Se entiende por adjunto cervecero a las materias primas que sustituyan parcialmente la malta en la elaboración de cerveza. El contenido de adjuntos puede variar entre el 10% y el 50% en relación con el extracto de cebada. Generalmente se utiliza en un 30% en la industria debido a su impacto en sabor y eficiencia.

c) Agua

El agua constituye entre el 85 y 92% de la cerveza. Interviene en varias fases del proceso productivo, desde el mezclado de la malta hasta procesos de filtración. Dentro de las características fisicoquímicas importantes del agua se puede mencionar el pH, la alcalinidad, la dureza y los iones.

d) Lúpulo

El lúpulo es un ingrediente especial de la cerveza, su principal objetivo es preservar la cerveza. Se refiere al cono de una flor o extractos naturales de la flor de *Humulus lupulus*, una planta trepadora familia *Cannabaceae* (cannabis), que promueve el amargor a la cerveza y contribuye con agentes antimicrobianos, antifúngicos, estabilidad de espuma.

Actualmente existen más de 22 variedades, las cuales aportan características especiales según la cerveza. Se puede agregar al principio o al final del proceso según la función a utilizar, ya que al inicio ayuda a conservar el mosto y brinda sabor; al final es utilizado para brindar aromas.

e) Azúcar

Es un ingrediente utilizado en el proceso de elaboración de la cerveza, durante la fase de ebullición con el fin de aumentar los grados brix del mosto, el cual está directamente relacionado con la cantidad de alcohol en el producto final o incluso diluirlo.

f) Levaduras

Las levaduras son los microorganismos encargados del proceso de fermentación de la cerveza, mediante la transformación de los glúcidos y aminoácidos de los cereales en alcohol etílico y dióxido de carbono. Son organismos unicelulares de tamaño entre 5 a 10 micras. Dentro de las especies más utilizadas para la elaboración de la cerveza se encuentran *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces pastorianus*. Siendo las cepas de levadura específicas del tipo de bebida que se quiera producir.

Las levaduras poseen la capacidad de floculación. La floculación es un proceso calcio-dependiente y reversible en donde las levaduras se adhieren unas con otras formando flóculos o conglomerados de miles de células. Lo cual les permite separarse del medio en el que se encuentran inmersas. Facilitando la recuperación de biomasa de manera rentable y eficaz.

Durante el proceso de fermentación de la cerveza los flóculos de las levaduras pueden ser retenidos e inmovilizados fácilmente dentro de los reactivos, produciendo etanol de manera eficiente y competitivas.

### 1) Clasificación de la cerveza según el tipo de levaduras utilizadas

Dentro de la clasificación básica o familia de cerveza se encuentran dos tipos: fermentación alta tipo “Ale” y fermentación baja tipo “lager”. La diferencia entre estos dos tipos de cervezas radica en la levadura utilizada, las temperaturas a la cual es fermentado el mosto y la forma en la que se recolecta la levadura al separarla del mosto fermentado.

#### a) Las cervezas tipo Ale o fermentación alta

Se llaman así porque floculan en lo alto del tanque de fermentación. Utilizan las levaduras *saccharomyces cerevisiae* y son trasvasadas por la parte de abajo para que los flóculos no pasen. Estas cervezas no requieren de un almacenamiento previo al consumo.

#### b) Las cervezas tipo Lagers o fermentación baja

Como su nombre lo indican proviene del alemán “*lager*” que significa almacenar, ya que requieren de un almacenamiento previo a su consumo. Las cervezas de este tipo utilizan las levaduras *saccharomyces pastorianus*. Levaduras que tienen la capacidad de flocular en la parte de abajo del tanque de fermentación. Por lo tanto, se trasvasa en la parte de arriba para que no se traspasen los flóculos del tanque.

### 3. Proceso de elaboración de cerveza

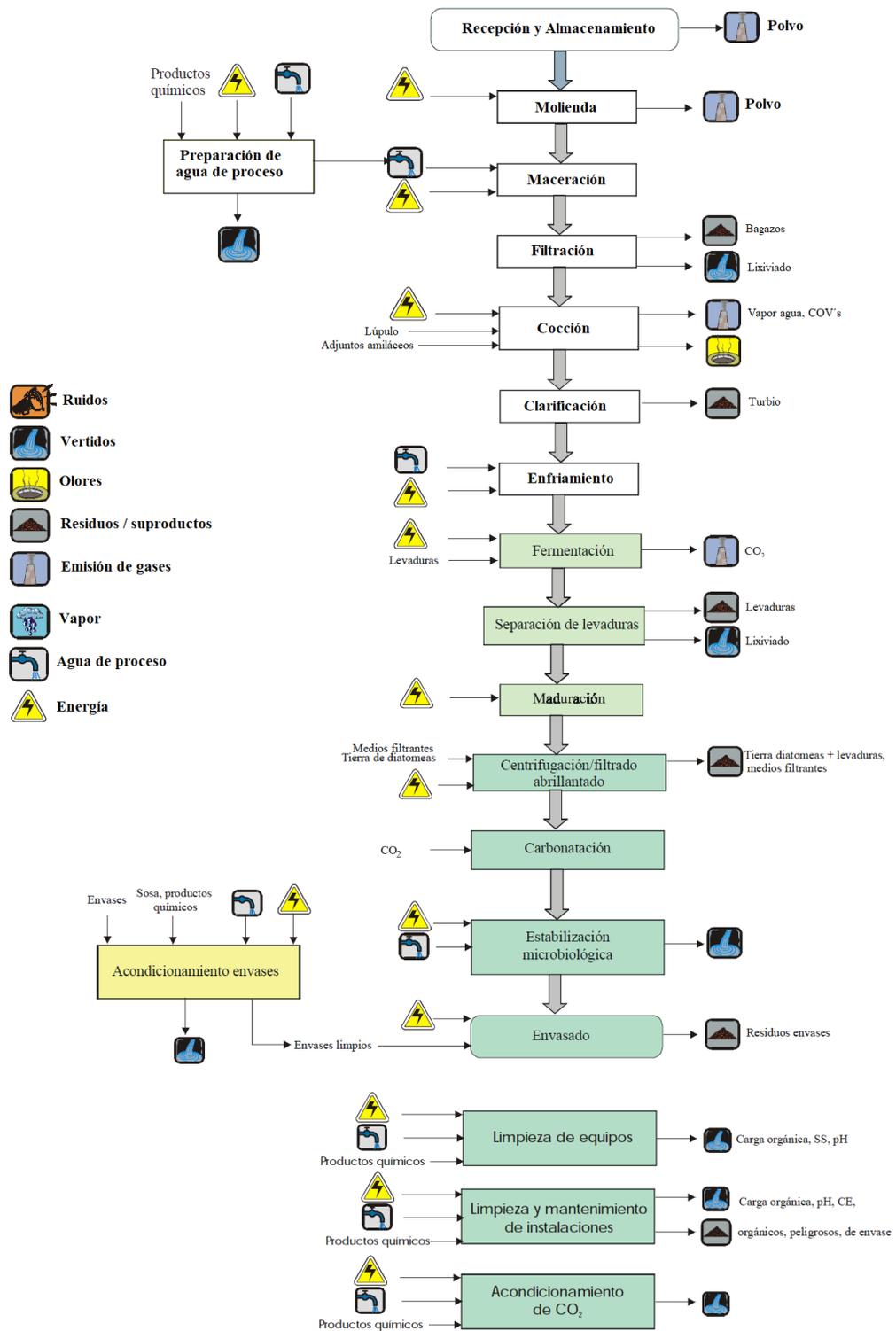
La producción de cerveza es un proceso biotecnológico, empieza con el malteo o germinado controlado en donde se producen las enzimas necesarias para transformar moléculas poliméricas como el almidón en pequeñas estructuras como glucosa, estructuras utilizadas por las levaduras para generar el alcohol durante la fermentación.

Durante la germinación controlada se observa el crecimiento de la radícula o raicillas en un 1/2 a 2/3 del tamaño del grano de cebada. Una vez germinado el grano, pasa al proceso de tostado y macerado en donde el tostado frena el proceso de germinación y genera aromas, sabores y colores provenientes de la reacción de Maillard. Durante el macerado en donde se disminuye el tamaño de la partícula lo cual promueve una mayor extracción de los elementos producidos durante el malteo.

Una vez terminado el proceso de malteado se agregan los adjuntos y agua para obtener el mosto. El cual es filtrado para obtener la fase líquida que será fermentada y la fase sólida de donde se obtiene el bagazo de cerveza. El mosto contiene los almidones sacarificables extraídos del grano de cebada, que serán sometidos al proceso de fermentación, para luego ebulirlo con el fin de esterilizar, caramelizar y permitir la extracción de enzimas, dependiendo de la cerveza se añade el lúpulo para aromatizar y/o conservar la cerveza.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del proceso y las operaciones auxiliares en el que se muestran los consumos y los efectos medioambientales asociados al proceso de producción de la cerveza. posteriormente se explicará más a detalle cada uno de los procesos.

Figura 6 Análisis general del proceso de producción de cerveza.



Fuente: Diagrama Análisis general del proceso de producción de cerveza obtenido de AINIA y Cerveceros de España (2000).

En este diagrama se puede observar el análisis de los “residuos” generados durante el proceso de elaboración de la cerveza con la diferencia que actualmente existe una diferencia entre el término residuo y subproducto.

a) El malteado y tostado

El malteo es el proceso de germinación aerobia del grano. Se agrega una solución de ácido giberélico, una fitohormona que estimula el proceso de síntesis enzimáticas rompe el estado durmiente del grano, incrementa el extracto de malta entre el 1 y el 3%, reduce el tiempo de germinación de 2 a 3 días, aumenta el volumen de malta verde, aumenta el color y la producción de FAN's (nitrógeno libre de aminoácidos). Después de la acción del ácido giberélico empieza la actividad enzimática en donde las amilasas hidrolizan el almidón. Una vez germinada la cebada posee 4 tipos de carbohidratos: glucosa, maltosa, sacarosa y maltotriosa que son los carbohidratos que formarán parte del mosto.

Durante la germinación se da el crecimiento de las raicillas de malta, las cuales son separadas del grano malteado por medio de rodillos especiales. Es aquí en donde se produce el primer subproducto de la cerveza.

El tostado frena el proceso de germinación, durante el tostado la temperatura aumenta favoreciendo las reacciones de caramelización y Maillard que son las encargadas de dar color y sabor característicos de la malta. La temperatura tiene un efecto directamente proporcional con el color de la malta. En industrias artesanales el color de la cerveza es dado por el proceso de tostado de la malta, pero también se pueden agregar colorantes caramelos.

b) Recepción y almacenamiento de materias primas

La recepción de materias primas incluye todas las operaciones de descarga, limpieza, almacenamiento y transporte de materia prima. En esta etapa se generan polvos durante la descarga de la malta, por lo tanto, se recomienda utilizar sistemas preparados con aspiración de aire y sistema de retención de partículas como ciclones y filtros de mangas.

La cebada malteada o malta es almacenada en silos y luego es transportado hasta los molinos para su molienda. Aquí el grano ya viene malteado y tostado según la cerveza a producir. El malteado y tostado es realizado por empresas especializadas ya que requieren de condiciones e instalaciones especiales.

c) Molienda

El proceso de molienda consiste en moler las maltas con el fin de romper la cáscara del grano y separarlas del endospermo para que estos queden expuestos para la maceración. Se reduce el tamaño de partícula sin llegar a finos. La molienda se puede hacer en seco o en húmedo.

Figura 7 Bagazo de cerveza obtenido después del proceso de filtrado.



d) Maceración

En el proceso de maceración la malta es mezclada con agua y se vierte en cubas donde se controlan y estabilizan las condiciones de temperatura, pH, viscosidad y composición del agua para que las enzimas puedan transformar el almidón en azúcares fermentables y la proteína en péptidos y aminoácidos; que corresponden a la fuente de nitrógeno para la fermentación. Durante el proceso de maceración se da la primera ebullición. Aquí se obtiene una solución de partes solubles e insolubles el cual debe ser separado para obtener el mosto.

e) Filtrado del mosto

La filtración es la separación física entre la fase sólida y líquida proveniente de la maceración. En pocas palabras el bagazo de cerveza se define como la fase sólida la cual contiene los afrechos o partes insolubles del grano. Mientras el mosto es la fase líquida que contiene todos los azúcares fermentables y las fuentes de nitrogenadas listas para la fermentación.

f) Cocción

En esta parte es donde se agrega el lúpulo con el fin de dar sabor y olor característico. Tiene como fin inactivar y esterilizar el mosto. Durante la cocción se da la coagulación de proteínas y taninos, se forma el color y el sabor de la cerveza.

g) Clarificación del mosto, enfriamiento y aireado

La clarificación tiene el fin de separar los restos provenientes del lúpulo y las partículas sólidas generadas por la coagulación del mosto. Se realiza mediante centrifugación, aquí el mosto aún se encuentra caliente por lo tanto es necesario enfriarlo para evitar sabores indeseables y oxidaciones. Por último, se da el proceso de aireado que tiene la función de proporcionar las condiciones necesarias de oxígeno para las levaduras.

h) Fermentación

La fermentación es el principal proceso biotecnológico para la elaboración de la cerveza, en donde las levaduras son agregadas al mosto para convertir los azúcares fermentables en etanol. Este proceso se da en tanques de fermentación en un tiempo aproximado de 8 y 10 días. Una vez fermentado el mosto se le llama cerveza y es transportada hacia tanques para su maduración.

i) Maduración

El proceso de maduración dura entre 45 y 60 días a temperaturas de -1 y 4°C características del tipo lager. Aquí se da la estabilidad característica.

j) Clarificación de la cerveza

El proceso de clarificación es el filtrado que se le realiza a la cerveza con el fin de eliminar las tierras diatomeas, retrasando el enturbiamiento de la cerveza y brindando un nivel óptimo de claridad según el tipo de cerveza.

k) Tierras diatomeas

Las tierras diatomeas son residuos sólidos producidos por la aplicación de la diatomita. La diatomita es una sustancia abrasiva utilizada como elemento filtrante para el proceso de clarificación de la cerveza. En promedio se utilizan de 1 y 2 g de diatomita calcinada produciendo 17,14 residuos sólidos. Esta es desechada en rellenos sanitarios para evitar contaminaciones y enfermedades (Peña Rodríguez, Hans Rodríguez, Becerra, Caballero, & Dulce Moreno, 2019). Por último, se realiza el proceso de carbonatación, pasteurización y envasado, en donde el orden depende del tipo de envase utilizado.

l) Carbonatación

La carbonatación es el inyectar CO<sub>2</sub> en la cerveza, a ciertas condiciones de temperatura y presión.

m) Envasado

El proceso de envasado o embotellado depende de la presentación del producto final, puede ser envasado en presentaciones de lata, barril, botella de vidrio con diferentes volúmenes, entre otros. En este punto se debe tomar en cuenta la hermeticidad, el movimiento de los envases.

n) Subproductos

Dentro de los subproductos obtenidos del proceso de elaboración de la cerveza se encuentra el bagazo húmedo de cerveza, levadura cerveceras y raicillas de malta, esto en cantidades considerables. Se les denomina subproducto debido a que pueden ser utilizados por medio de economía circular en múltiples industrias.

1) Raicillas de Malta

La raicilla de malta es una masa blanda y voluminosa, formada por filamentos amarillo pardo, de olor similar al de la malta torrefactada, de tamaño entre 5 a 8 mm de largo, grosor de décimas de milímetro y sabor ligeramente amargo. En promedio se obtienen 5 kg de raicillas por cada 100 kg de bagazo de cerveza. Este proceso no se realiza en las cerveceras sino en las industrias especializadas de malteo.

Las raicillas de cebada poseen un alto contenido de fibra (40% FND), almidón (11%) y azúcares como sacarosa (9%). Contiene proteína en un 19% con 4.3% de lisina sobre proteína bruta. Dentro de los polisacáridos mayoritarios de la fibra se puede mencionar la celulosa, b-

glucopiranosas, sustancias pépticas y ligninas. Este subproducto se utiliza para la alimentación de rumiantes, cerdos, conejos e incluso un porcentaje relativamente bajo en avicultura (FEDNA, 2019).

La lignina es un compuesto polifenólico que se encuentra unido a las hemicelulosas en la pared celular. Su función es brindar rigidez a la raicilla. Las raicillas son utilizadas en la industria farmacéutica debido a su contenido de lignina para atrapar metales pesados, dispersantes de pesticidas, producción de carbón activado, extracción de antioxidantes entre otros (Torrente, 2019).

## 2) Levaduras

La levadura de cerveza es un fermento compuesto de la levadura pulverizada con los restos de la cerveza. Posee un sabor amargo, es rico en proteínas (posee todos los aminoácidos esenciales como lisina y triptófano), vitaminas del complejo B, y en minerales; como el cromo que cumple un papel fisiológico como la incrementación de la acción de insulina o sensibilidad de los tejidos periféricos y el magnesio para suplementar dietas deficientes con este mineral. Aproximadamente se obtienen 2 kg de masa de levaduras por cada 100 kg de cerveza elaborados.

Las levaduras son una fuente de proteínas unicelulares por lo tanto puede ser utilizada en la industria farmacéutica y alimentaria para la elaboración de suplementos nutricionales. Incluso las levaduras son dos veces más ricas en proteínas que las semillas oleaginosas como lo son las almendras, nueces y avellanas, y solo es comparada con el huevo y la leche ya que el valor nutritivo de la proteína de la levadura representa del 80 al 85% del valor de la caseína (Espinoza Escobar, 2011).

## 3) Bagazo de cerveza

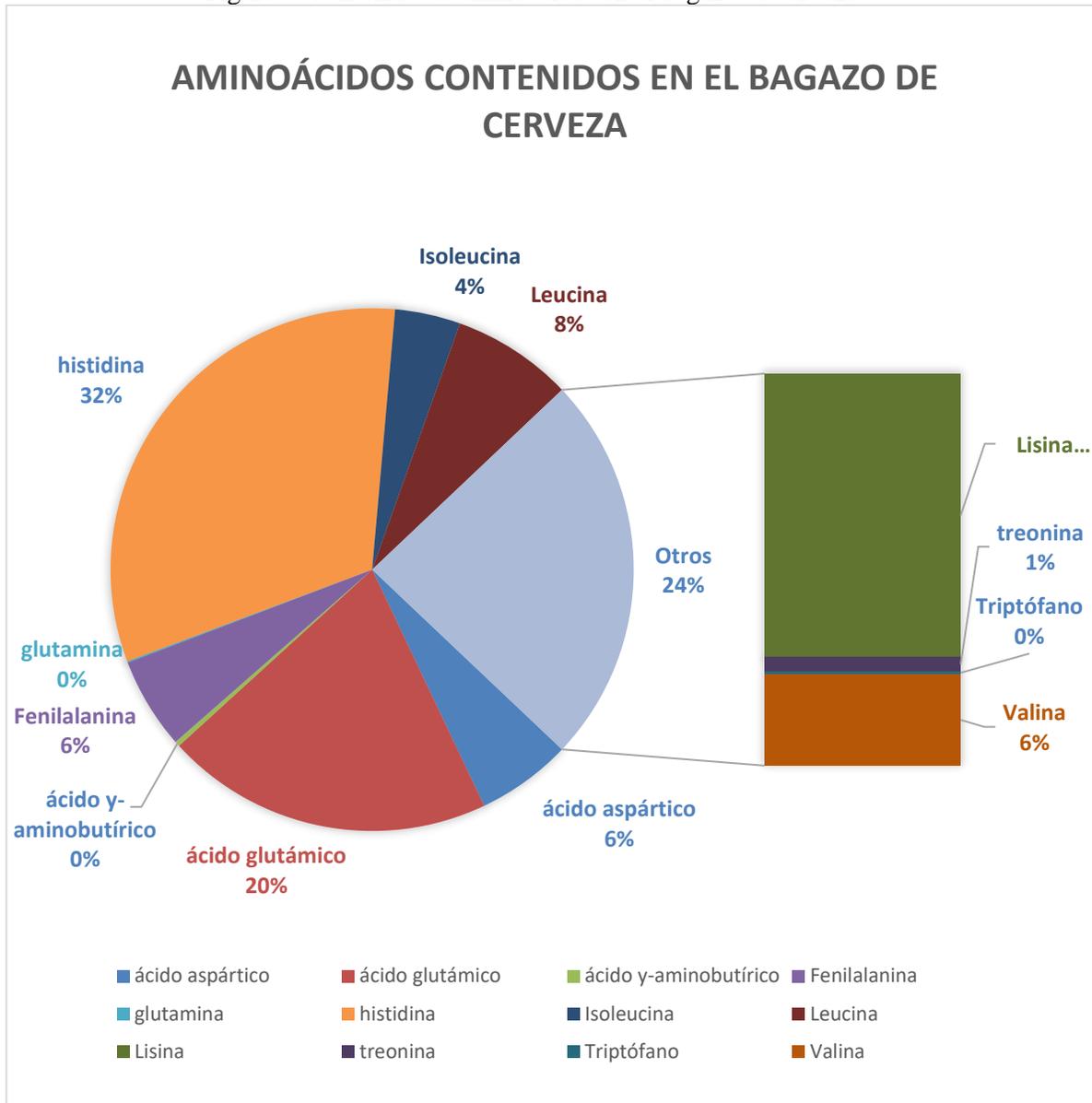
El bagazo de cerveza puede ser conocido como afrecho o cebadilla, es el subproducto más abundante generado del proceso de elaboración de la cerveza, representa el 85% del total de los subproductos obtenidos. Está compuesto por las cáscaras del grano de cebada como residuo sólido húmedo tras el prensado y filtrado para la producción del mosto. Su contenido de materia seca es entre 20 a 25% del peso húmedo. Es rico en fibra y proteínas, es una materia prima de interés para su aplicación en diferentes áreas por su bajo costo y gran disponibilidad durante todo el año.

Según la revisión de la clasificación de alimentos y piensos de la Comisión del Codex Alimentarius CX/PR 20/52/7 de junio de 2020, el bagazo de cerveza es considerado como producto alimenticio secundario de origen vegetal, grupo 059, SM 0718 bagazo de cerveza de cebada y está clasificado como nuevo producto antes de 2018. El bagazo de cerveza es utilizado como alimento o pequeña parte de la cantidad total se utiliza como alimento, no posee código en la clasificación vigente (Comisión del Codex Alimentarius, 2020). Actualmente aún sigue en revisión debido a que no es posible establecer un CXL del grupo debido a la amplia diversidad de cultivos.

## 4. Composición del bagazo de cerveza

El bagazo de cerveza puede variar según el tipo de cerveza elaborada, posee bajo contenido de almidón y azúcares, alto contenido de fibra y proteína. Las proteínas en forma de aminoácidos esenciales como lisina, leucina, fenilalanina, isoleucina, treonina y triptófano, que representan el 30% de las proteínas, el 70% restante de las proteínas corresponde a los aminoácidos no esenciales como la histidina, ácido glutámico, con pequeñas cantidades de ácido aspártico, valina, ácido y-aminobutírico y glutamina (Mussatto, 2013).

Figura 8 Contenido de aminoácidos en el bagazo de cerveza.



Fuente de elaboración propia.

La lisina y el triptófano son los aminoácidos esenciales deficientes en la alimentación guatemalteca por eso se recomienda hacer mezclas vegetales con leguminosas como frijol para poder aumentar el contenido. Se espera hacer combinaciones de harinas de cebada malteada con frijol y saborizar con chocolate para aumentar el contenido de lisina en la mezcla.

El bagazo de cerveza contiene fibras vegetales como la celulosa, hemicelulosa y lignina, lo cual lo hace una materia prima para producción de biomasa, agentes emulsionantes, quelantes, compuestos fenólicos, carbón activado, dispersante, pesticidas, fertilizantes, polímeros, adhesivos, compuestos para resinas entre otros. El contenido de hemicelulosa en el bagazo de cerveza en comparación con otros subproductos como la paja de arroz, paja de trigo, cebada o avena es alto debido a que forma parte de la fibra insoluble (Mussatto, 2013).

Dentro de los micronutrientes contenidos en el bagazo de cerveza se puede mencionar el silicio, fósforo y calcio. Siendo el contenido de fósforo y calcio mayor que en otros cereales como el arroz, avena y bagazo de trigo.

Tiene agotado el contenido de almidón y azúcares, alto contenido de fibra y proteína puede ser comparable con harinas consideradas keto como la harina de almendra, que es la harina producida a base de las almendras molidas utilizada en dietas cetogénicas, aptas para diabéticos ya que no afectan el pico de glucosa en sangre. Según los resultados obtenidos por el estudio realizado en Argentina el bagazo de cerveza posee la siguiente composición:

Cuadro 4 Composición bromatológica del bagazo de cerveza.

<b>Composición</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Humedad	84
Proteína	23
Fibra	38
Grasa	8
Cenizas	2.5
Carbohidratos	28.5

Fuente: Primer Informe sobre características del Bagazo de la industria cervecera (Bucci, Santos, Orguela, & Zaritzky, 2020). En donde se observa que el bagazo de cerveza posee un alto contenido de humedad con el 84%, proteína con un 23% carbohidratos totales con 66.5% y grasa con 8%.

## B. Usos del bagazo de cerveza.

El bagazo de cerveza puede utilizarse para la elaboración de producción alimentaria, alimentos para ganado, sustratos para microorganismos en biorreactores para producción de enzimas como la alfa-amilasa, síntesis de vitaminas, producción de biomasa, creación de eco ladrillos, entre otras.

El bagazo de cerveza se utiliza en la industria ladrilleras, mediante su aplicación en ladrillos de construcción, esto gracias a que usualmente se utiliza cáscara de arroz como pulpa de papel, el cual pasan a un proceso de combustión en donde la materia orgánica es utilizada en la formulación. Dentro de las ventajas de utilizar el bagazo de cerveza en la industria ladrillera se puede mencionar mayor disponibilidad y costos ya que en comparación a la cáscara de arroz, esta es un subproducto estacional y tiende a ser mucho más caro que el bagazo de cerveza (Firma Paz, 2018).

El bagazo húmedo de cervecería se utiliza como sustituto de cereales en la suplementación de ovinos. Esta idea nació debido a las fluctuaciones estacionales en la disponibilidad y calidad del forraje, la cual es una de las principales causas de estrés nutricional que limita a la producción animal. El bagazo de cerveza se usa como una alternativa al maíz en sistemas de suplementación energética. El grano de maíz es el concentrado energético por excelencia para la producción animal, pero cada vez más los mercados internacionales exigen que su destino sea para consumo humano, por lo tanto, se ha visto en la necesidad de buscar alternativas nutricionales semejantes, que disminuyan el costo de la suplementación del ganado, ya que posee un costo alrededor de 6 veces menos que los concentrados comerciales (Rivas, y otros, 2017).

El bagazo húmedo de cebada lo clasifican como un complemento adecuado para la alimentación de rumiantes debido a su concentración de proteína y su alta cantidad de fibra que estimula el buen funcionamiento del rumen. Comparado con el 88% de nutrientes digestibles totales

del maíz, el bagazo de cerveza contiene un valor energético del 71 al 75% de nutrientes digeribles totales (NDT) (Rivas, y otros, 2017).

Al hablar de otros países a nivel latinoamericano podemos mencionar los usos que se le da en Argentina en donde tan solo el 20% del bagazo es utilizado como alimento para ganado el resto es utilizado para la elaboración de ladrillos al igual que la cáscara del arroz.

En un estudio realizado en México con el objetivo de evaluar el efecto de la sustitución de granos de maíz y sorgo por bagazo de cervecería húmedo sobre el rendimiento productivo de ovinos en pastoreo y la relación beneficio costo en relación con la suplementación usual, se evaluaron 4 tratamientos diferentes: pastoreo, pastoreo + 500 g de maíz amarillo, pastoreo + 500 g de sorgo y pastoreo + 500 g de bagazo húmedo de cervecería. Se analizaron los datos obtenidos en el ensayo y se realizó un análisis de factibilidad económica en base a los indicadores de valor de la producción, costo de producción, beneficio bruto, razón de costo- beneficio, y razón ventas-beneficio; en el cual se concluyó que el bagazo húmedo de cervecería podría llegar a ser una opción para la suplementación de los ovinos en pastoreo, ya que obtuvieron una ganancia diaria de peso similares a los de otros suplementos como el caso de maíz y el sorgo, siendo la suplementación con bagazo húmedo la que mejor costo beneficio obtuvo ya que se redujeron los costos de alimentación (Rivas, y otros, 2017).

Debido a sus propiedades, el bagazo de cerveza puede ser utilizado en procesos biotecnológicos como medio de cultivo en fermentaciones en estado sólido (SSF) para la generación de enzimas como la alfa-amilasa a partir de hongos como *Rhizopus Sp.* y *Aspergillus Niger*. Para la generación de ácido cítrico a partir del hongo *Aspergillus Carbonarius* por medio de SSF. Como portador para inmovilización celular especialmente de levaduras como *S. cerevisiae*, como vehículo para inmovilización celular para producción de pectinasa por *K. marxianusCCTT3172*. Esto gracias a su estructura irregular y composición química no homogénea que proporciona sitios activos fácilmente colonizables por microorganismos (Mussatto, 2013).

Cabe mencionar que del bagazo de cerveza se puede obtener el ácido ferúlico que es un antioxidante, antimicrobiano, antiinflamatorio, antitrombótico, anticancerígeno, lo cual lo hace uno de los compuestos mayor investigados por la industria farmacéutica. Incluso ha sido utilizado para el desarrollo de materiales biocompatibles para utilizarse como soportes en la regeneración ósea (Torrente, 2019).

Así mismo el bagazo de cerveza también ha sido utilizado para la elaboración de bebidas energéticas sustentables por medio de infusiones. Bebida la cual no tiene efectos secundarios en pacientes celíacos debido a su proceso y a la combinación con arroz malteado y otros de los ingredientes como el Jugo de caña, extractos vegetales de moringa y agua. En donde el contenido de bagazo de cerveza varía entre el 20 y 40% m/vol. Se considera una bebida energética sustentable debido a las características propias de la bebida y sustentable debido a la sustitución del grano de cebada por bagazo de cerveza lo cual permitió una reducción de costos, especialmente porque el grano de cebada es un grano de importación (Marcet García, MARcet Sánchez, MEDell Gago, Ramos, & Beatón Bereguer, 2014).

Dentro de los usos mayormente destacados del bagazo de cerveza se puede mencionar una barra de cereales apta para diabéticos” el cual en 2018 ganó el Premio Arcor a la innovación, organizado por la empresa alimentaria en conjunto con la secretaria de Gobierno de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, en Argentina. Para la elaboración de la barra de granola se utilizó una mezcla de avena y bagazo de cerveza. El bagazo de cerveza cumple la función de abaratar los costos de producción, aumentar el aporte de nutrientes esenciales característicos del

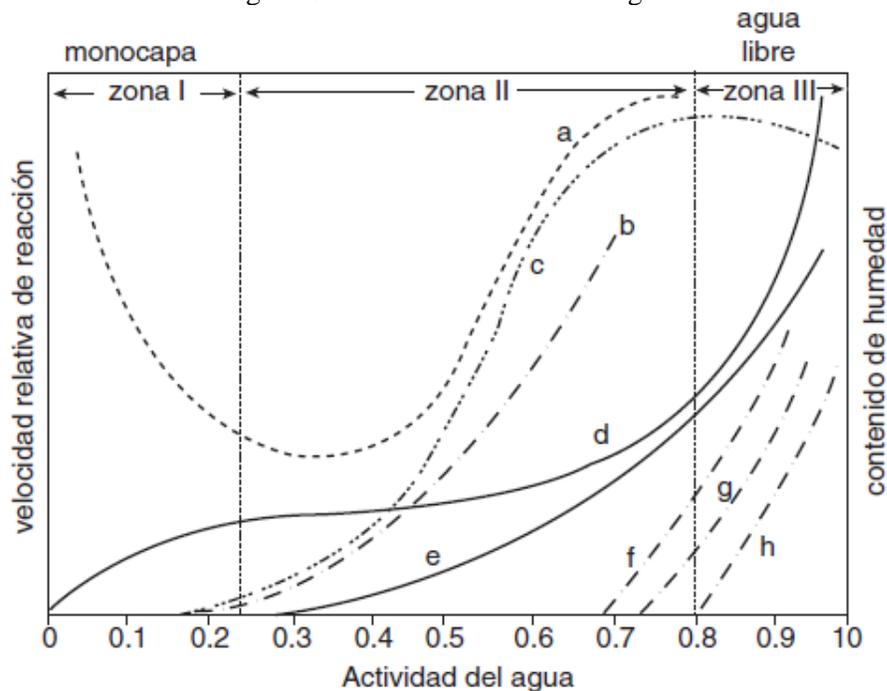
mismo y solucionar el problema con el medio ambiente, ya que la relación de bagazo de cerveza es de 2 kilos por cada 10 Litros de cerveza (Bucci, Santos, Orguela, & Zaritzky, 2020). Según los ganadores del premio Arcor el mayor trabajo realizado en la barra es estandarizar los niveles antes de mezclar el bagazo con otros ingredientes para que la calidad nutricional quede equilibrada. Otro de los objetivos es que el bagazo de cebada sea contemplado por el Código Alimentario Argentino, lo cual lo habilitaría para ser utilizado no sólo como un cereal sino como forma de harina. Harina la cual puede servir como ingrediente de otras comidas

### C. Proceso de conservación del bagazo de cerveza húmedo

El principal inconveniente con el uso del bagazo de cerveza es su alto contenido de humedad tras el proceso de filtrado el cual provoca que se deteriore con mucha facilidad, generando consigo olores desagradables debido al proceso de putrefacción, atracción de plagas y generación de gases de efecto invernadero como lo es el metano; por lo cual debe ser procesado de inmediato para su conservación y su utilización.

Para su utilización es imprescindible aumentar el tiempo de vida útil mediante la disminución de la humedad, por lo tanto, se utilizó como método de conservación la deshidratación. Es importante eliminar el agua libre en exceso con el fin de hacer más efectivo el tiempo de deshidratación para lo cual se utilizó el proceso de prensado o centrifugado. El porcentaje de humedad se ve ligado con la actividad de agua ( $a_w$ ), que establece el grado de agua libre contenida en el alimento que se encuentra disponible para reaccionar químicamente o como condiciones para la proliferación de microorganismos (Cisneros Arias, 2019).

Figura 9 Gráfico de actividad de agua.



Fuente: Química de alimentos de salvador Badui, (Badui Dergal, 2019).

En la Figura 9 se observa los cambios que ocurren en los alimentos en relación con la actividad del agua. Siendo a) la oxidación de lípidos, b) reacciones hidrolíticas, c) oscurecimiento

no enzimático, d) isoterma de adsorción, e) actividad enzimática, f) crecimiento de hongos, g) crecimiento de levaduras, h) crecimiento de bacterias. Las isotermas f, g y h son más pronunciadas que el resto. Están relacionados a altas humedades y actividades de agua entre 0.65 y 0.85 debido a que favorecen al ambiente para su proliferación. Para garantizar la vida útil y la inocuidad de la harina de cebada malteada es necesario que la actividad de agua sea menor a 0.6.

Otra forma de conservar el bagazo de cerca es por medio de la congelación a temperaturas cercanas a 0°C, mezclas de soluciones con ácido peracético al 0.1 el cual se elimina como ácido acético durante la cocción (Marcet García, MARcet Sánchez, MEdeñ Gago, Ramos, & Beatón Bereguer, 2014). En este caso se optó por el proceso de deshidratación ya que el mantener el producto congelado es mucho más caro que una deshidratación.

Al momento de elaborar una harina, el secado del grano es el proceso previo a la molienda en donde se retira el agua libre con el fin de alargar su vida útil. La temperatura y tiempo de secado están relacionados con la cantidad de humedad que el grano posee y la cantidad de humedad a retirar. Entre mayor humedad posea el grano menor es la temperatura para utilizar. En promedio la temperatura máxima de secado para el grano de cebada malteada es de 50°C (Jamamillo Valdez, 2019).

En el caso del bagazo de cerveza húmedo se debe realizar un proceso de deshidratación por medio de convección, con un espesor de entre  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{8}$  de pulgada a una temperatura entre 60 y 70°C por un tiempo aproximado de 7 horas. Una vez concluido el tiempo se debe dejar secar y enfriar. Para pasar al proceso de molienda con el fin de obtener una harina fina. La harina obtenida se debe almacenar de manera hermética y guardar en un lugar seco.

## D. Elaboración de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza deshidratado.

Para entender el proceso de producción de la harina de cebada malteada es necesario entender cuál es el proceso que lleva una harina de un grano común sin maltear como el caso del trigo y como varía a partir del bagazo de cerveza.

## E. Proceso de elaboración de harina a partir de un grano

El término harina se refiere a un polvo fino obtenido de la molienda de cereales y otros vegetales, siendo la harina más consumida la de trigo, maíz, avena y cebada entre otras. Harinas de leguminosas como garbanzos y soja, de tubérculos como yuca y papa (Lezcano, 2014). El proceso de elaboración de harina consiste en múltiples etapas siendo la principal la molienda en donde se da la ruptura del grano, se recupera el endospermo y se reduce su tamaño para ser harina mediante. El proceso para la elaboración de la harina a partir de un grano es el siguiente:

- La limpieza preliminar de los granos y separación, en donde se separa la paja, el polvo y granos vacíos.
- Despuntado y descascarillado, este paso consiste en descartar el germen y las cubiertas del grano.
- Molienda y trituración es el proceso en donde se desgarran el grano y equipos para la clasificación y purificación de las distintas fracciones como lo serían las cepilladoras de salvado. Una vez terminado el proceso de molienda pasa al proceso de tamizado.
- Tamizado es el proceso en donde se da la separación de diferentes fracciones según el tamaño y su densidad.

## 1. Productos y subproductos de la producción de la harina.

La trituración del grano afecta las operaciones de cernido y purificación. La distribución de partículas por tamaño como en la cantidad de salvado presente en el producto determina ciertos parámetros de calidad como lo es la ceniza, granulometría, humedad, contenido de almidón y conducta farinografía.

La harina es el principal producto de la molienda, y hace referencia a las partículas finas del endospermo. Las sémolas son fragmentos del endospermo cubierto de pedacitos de afrecho o salvado y las semolinas son sémolas muy pequeñas. El afrecho o salvado es la cascarilla o cubierta del grano. Las sémolas como la de trigo pueden ser utilizadas para la fabricación de pasta en la panificación o para alimentación de animales.

Actualmente en el mercado existe harina de cebada (grano sin maltear) análoga a la harina de trigo. El grano de cebada tiene la capacidad de producir harina blanca debido al endospermo, que es la parte del grano donde se encuentra el almidón. A diferencia de las harinas obtenidas de diferentes granos incluyendo la cebada (sin maltear), el trigo, maíz y avena, la harina proveniente del bagazo de cerveza ya no posee su contenido de almidón que brinda el color blanco característico de la harina. El color de la harina de bagazo de cerveza proviene del color del grado de los grados Lovibond (°L) provenientes del proceso de malteado del grano de cebada.

El proceso de producción de la harina de bagazo de cerveza tendrá unos pasos diferentes al proceso de producción de una harina a partir de un grano ya que el antes de pasar al proceso de molienda esta debe ser deshidratada. La harina obtenida será la mezcla de sémolas y afrecho.

## F. Proceso de elaboración de harina a partir de bagazo de cerveza deshidratada.

La harina de cebada malteada es el producto final que se obtiene de la molienda del bagazo de cerveza deshidratado, se le llamará harina de cebada malteada, debido a que el nombre bagazo de cerveza hace referencia a la bebida alcohólica y tiende a confundir al consumidor.

Dentro de las ventajas de utilizar el bagazo de cerveza obtenido como subproducto de la cerveza es que ya no es necesario limpiar desde cero el grano, porque la malta cervecera para poder ser utilizada en la elaboración de la cerveza debe cumplir con altos estándares de calidad, en donde se evalúa que el grano este limpio, sano, libres de impurezas o materias extrañas, por lo tanto, se puede asegurar que la harina de bagazo de cerveza cumple con el paso de limpieza preliminar y separación.

El bagazo de cerveza debe ser deshidratarlo antes de pasar al proceso de molienda, seguido de la separación de tamaño por medio de tamices, la purificación de la harían para eliminar cáscaras o pedazos más grandes que no se lograron retirar por medio de separación y, por último, la comprensión de la harina, la cual se realiza por rodillo lisos para que esta logra la finura adecuada. Es importante determinar un proceso de extracción del bagazo húmedo de cerveza para evitar contaminaciones.

### 1. Proceso de deshidratación

La deshidratación es uno de los métodos de conservación más utilizado en la industria de alimentos a través de la historia, debido a que presenta grandes ventajas al disminuir la reducción

de la cantidad de agua. La deshidratación también llamado secado o desecado es un proceso de conservación de alimentos en donde se desea eliminar el agua libre, disminuyendo la actividad microbiana, reduciendo a la actividad enzimática y aumentando la vida útil del producto. Mantiene las proteínas, reduce el peso y volumen del alimento, evita desperdicios en los alimentos, entre otros y puede realizarse mediante el secado solar o por medio de gases calientes.

En el caso de deshidratación para la elaboración de harina de cebada malteada se utilizará un secador de bandeja por gases, el cual fue diseñado en la universidad del valle con fin de deshidratar cardamomo, en donde el gas caliente se pone en contacto con el bagazo húmedo de cerveza, facilitando la transferencia de calor y masa. Dentro de los factores físicos a considerar para el proceso de deshidratación se encuentra el área de superficie, la temperatura, flujo de aire y la humedad.

## 2. Humedad:

El bagazo húmedo de cerveza debe ser sometido a un proceso de centrifugación con el fin de eliminar el agua en exceso proveniente del proceso de filtración del mosto. Reduciendo la humedad inicial para el proceso de deshidratación. Un punto importante es que el recipiente o empaque en donde el producto deshidratado va a ser almacenado no permita que el producto adquiera humedad del ambiente.

## 3. Área de superficie:

El proceso de deshidratado es necesario esparcir el bagazo húmedo de cerveza centrifugado por toda la superficie del gabinete de manera uniforme y delgada para aumentar la transferencia de masa y calor. A mayor superficie de contacto con la fuente de calor mayor superficie para eliminar la humedad. Las capas delgadas son necesarias para que sea mucho más fácil eliminar la humedad atrapada en el centro del alimento.

## 4. Temperatura:

La transferencia de calor ocurre dentro del producto está relacionada con el gradiente de temperatura entre la superficie del producto y la superficie del agua dentro del producto. Al aumentar la energía del agua el vapor se transporta desde dentro del alimento hacia la superficie del alimento.

## 5. Proceso de molienda

El proceso de molienda consiste en someter el bagazo deshidratado de cerveza a un proceso físico para disminución del tamaño de partícula, en ella se logra separar la cáscara, el germen y lo restante del endospermo.

Para la elaboración de la harina se debe realizar dos moliendas en un molino convencional, la primera molienda para retirar la cáscara, la segunda molienda para terminar de limpiar el grano sin cáscaras y para darle el tamaño requerido para polvos finos. De manera industrial el grano es aplastado por rodillos para sacar la cáscara (Jamamillo Valdez, 2019). Tras la molienda pasa al proceso de cernido en donde se separan las partes molidas.

## 6. Proceso de tamizaje

El proceso de tamizado o cernido es una operación que se realiza con el producto resultante de la molienda con el objetivo de separar el salvado de la harina mediante la utilización de movimientos vibratorios que hacen pasar la harina por medio de los tamices.

## G. Legislación aplicable

Según la norma COGUANOR NGO 34 083:91 para Harinas de origen vegetal, Harina de trigo, enriquecida. Especificaciones. La harina de trigo es obtenida de granos de trigo limpio, sano y libre de impurezas o materias extrañas que alteren la calidad del producto. Su aspecto debe ser en forma de polvo, libre de terrones y exento de excretas de animales, hongos y parásitos, y de otras materias extrañas. Debe tener un olor y sabor característicos y deberá estar libre de olor y/o sabor amargo, rancio, mohoso o cualquier otro sabor diferente al característico. El color del producto deberá ser blanco o blanco cremoso de acuerdo con el tipo al que corresponda.

Como la utilización del bagazo de cebada es relativamente nuevo no existe legislación que establezca las condiciones que debe cumplir, en este caso se comparara y se seguirán las establecidas en Guatemala para la harina de trigo y algunas normas internacionales como lo sería la norma mexicana NOM 247-2008 y Codex Alimentarius en donde se definen y explican de mejor manera los tipos de harinas con el fin de clasificarla.

Según el RTCA 67.04.54:10 de alimentos y bebidas procesadas. Aditivos alimentarios, el producto a realizar es categorizado, en el subgrupo 7.2.1 Tortas, galletas y pasteles. Por ejemplo, galletas de mantequilla, tarta de queso, barritas de cereales rellenas de fruta, bizcochos entre otros. Debido a que el brownie es un bizcocho de chocolate pequeño.

Según la norma mexicana NOM 247-2008 para “Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba”. Aplicable a granos comestibles de ciertas plantas pertenecientes a la familia de las gramíneas de un solo cotiledón como lo son el trigo, maíz, arroz, avena, centeno, cebada, sorgo, amaranto, entre otras (México, 2008). Existen diversos tipos de harina como las mencionadas a continuación.

**Harina de cebada:** Se refiere a la harina de cebada como el producto resultante de la molienda del grano de cebada; maduro, limpio, entero y seco, de la especie *Secale cereale*; sin envolturas celulósicas.

**Harina de grano entero:** se refiere al producto obtenido de la molienda del grano de cereal que conserva la cáscara y sus otros constituyentes en una proporción relativa similar a la del grano intacto original, logrando esto ya sea por medio natural o tecnológicos.

**Sémolas o semolinas:** hace referencia a las fracciones de granulometría diferentes a las de las harinas derivadas de la molienda de cereales, libre de tegumentos y germen.

**Alimentos preparados a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas:** a los productos alimenticios que son elaborados a base de granos de cereales u otros granos y semillas comestibles, enteros o sus partes o molidos (harinas sémolas o semolinas), preparados mediante procesos físicos, aptos para ser consumidos directamente o previa

cocción, adicionados o no de aditivos y de otros ingredientes opcionales. Estos pueden prepararse por procesos como inflado, laminado, recubierto, tostado, extruido, aglomerado u otros.

**Harina integral:** es el producto obtenido de la molienda del grano de cereal que conserva su cáscara y sus otros constituyentes.

Actualmente no existe en el mundo ninguna ley para fabricación de harinas de bagazo de cerveza ni similares. En países como Argentina y la Unión Europea el bagazo de cerveza se ha considerado dentro para crear legislaciones, el problema es que aún no se ha desarrollado ni se utiliza en cantidades significativas para poseer una legislación.

## H. Análisis de capacidad de retención de solventes.

El método de SRC o Solvent Retention Capacity por sus siglas en inglés consiste en una medida de hidratación basada en la capacidad de absorción de diferentes polímeros presentes en la harina como gluteínas, almidón y pentosano. Cada una de las soluciones utilizadas tiene como función predecir el comportamiento de cada uno de los polímeros en la calidad de la harina. Por ejemplo, el ácido láctico al 5% (p/p) sirve para la medición de glutelinas, el carbonato de sodio 5%(p/p) para la medición del almidón dañado y la sacarosa 50% (p/p) para la medición de pentosanas.

Las gluteninas, el almidón dañado y las pentosanas consisten en los 3 principales componentes funcionales que afectan el comportamiento de las masas durante los procesos de fabricación y cocción. Las gluteninas influyen en la extensibilidad y elasticidad de la masa, el almidón dañado actúa sobre la adherencia y las pentosanas en la viscosidad de la masa.

Cuadro 5 Clasificación para para galletas y productos fermentados con base en la capacidad de retención de solventes (SRC).

Producto	SRC-agua	Ácido láctico	Carbonato de sodio	Sacarosa
Galletas y crackers	<51%	>87%	<64%	<89%
Productos fermentados	<57%	>100%	<72%	<96%

Fuente obtenida de: (Chopin Technologies, 2018).

Se debe considerar que entre mayor sea el volumen de porcentaje de SRC para ácido láctico mayor será el volumen del pan. A altos valores de SRC para Sacarosa o de SRC- carbonato de sodio permiten predecir las dificultades para obtener volumen elevado. Altos valores de SRC-ácido láctico, sacarosa y carbonato de sodio conducen una miga dura.

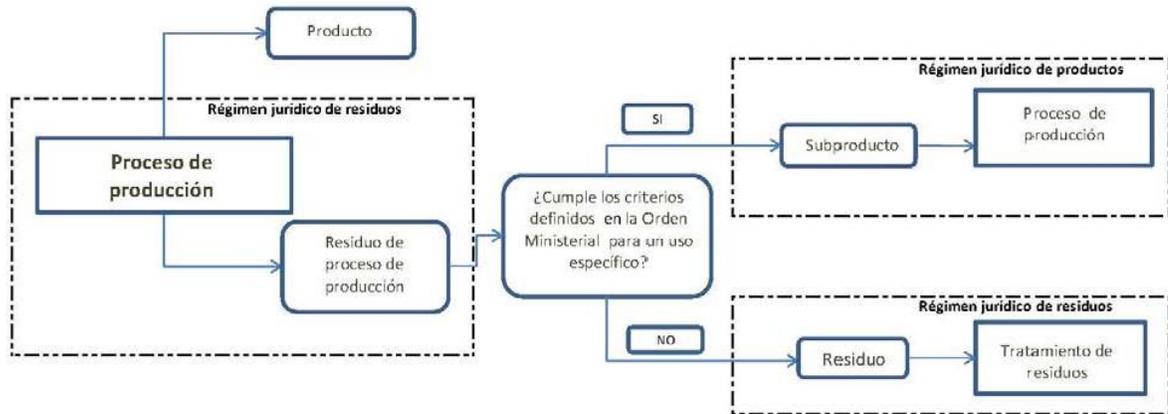
## I. Residuos, subproductos y economía circular

Existe una diferencia entre los términos residuo y subproducto. Según la ley la ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados español. Un residuo se define como cualquier sustancia u objeto generado del proceso productivo (fabricación, transformación, utilización, de consumo, de limpieza o mantenimiento de una actividad industrial) que tenga la intención de ser desechado, mientras que un subproducto es la sustancia u objeto resultante de un proceso productivo el cual no es objetivo final de la producción, pero que tiene la intención de ser utilizado más adelante y que cumple con las siguientes características:

- Al ser utilizado no debe producir impactos generales adversos a la salud humana o al medio ambiente.
- Que se pueda utilizar sin tener que someterse a ninguna transformación.

- Que se produzca como parte integrante del proceso de producción. (Torrente, 2019).

Figura 10 Esquema de decisión para clasificación para residuos o subproductos proveniente de los procesos de producción y cuál es el régimen jurídico aplicable en cada etapa.



Fuente: Diagrama obtenido de Emgrisa (2016).

Dentro de los beneficios del aprovechamiento de los subproductos esta la disminución del impacto ambiental, disminución de costos de tratamiento de residuos, generación de nuevas fuentes de ingresos. El cual está relacionado con los ODS 2030 2, 8, 9 y 12; (no.2) mediante la disminución de explotación de tierras por cultivo de cereales, (no.8) promover el crecimiento económico sostenible, inclusivo y sostenible, empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos. (no.9) industria, innovación e infraestructuras ya que es más productiva y menos contaminante. (no. 12) garantizar modalidades de consumo y producciones sostenibles por mencionar algunos.

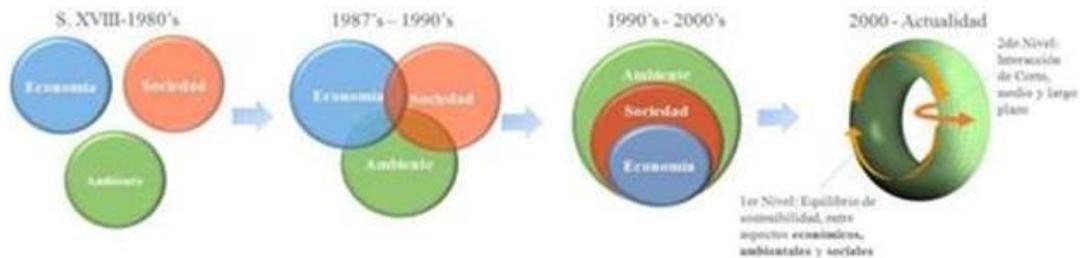
## J. Subproductos y la economía circular

La aplicación de la economía circular y social puede brindar valor a los subproductos ayudando a la sostenibilidad medioambiental, optimización y disminución de recursos. Este enfoque busca extender la vida útil de los subproductos y convertirlos en recursos, mejorando la gestión de residuos y reduciendo el impacto medioambiental. (Ormazabal, Jaca, & Prieto Sandoval, 2017).

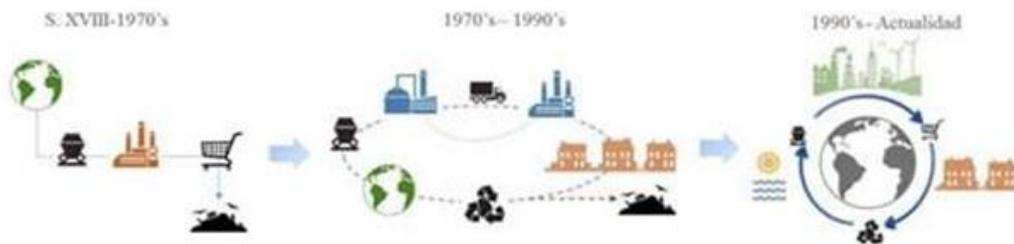
“La economía circular busca sustituir a la economía lineal”. La economía lineal nace de la ideología del usar y tirar. En donde las materias primas son extraídas del medio ambiente, procesadas, consumidas y desechadas, lo malo de esta ideología es que los recursos son finitos y los residuos pueden llegar a acumularse. Es de ahí donde nace el termino de reutilización, el cual es uno de los pilares básicos de la economía circular, los residuos pueden transformarse en recursos, mejorando la gestión de residuos, siendo más sostenible a lo largo del tiempo y reduciendo el impacto medioambiental (Chaves Ávila & Monzón Campos, 2018).

Figura 11 Evolución del concepto de "Desarrollo Sostenible" y camino al concepto de "Economía circular".

## Evolución del concepto de "Desarrollo Sostenible"



## Camino al concepto de "Economía Circular"



Fuente: Economía circular: relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación (2017). (Ormazabal, Jaca, & Prieto Sandoval, 2017).

En la Figura 9 se observa la evolución de la economía circular, desde la percepción de la economía, la sociedad y el ambiente como tres entes independientes una con la otra, su unión hasta la formación de un anillo o ciclo; que hace referencia al modelo de producción y consumo en equilibrio ambiental, social y económico. La forma es de círculo de donde proviene el nombre economía circular, donde ya no se generan residuos si no subproductos que son reutilizados e introducidos nuevamente al mercado.

La economía circular tiene tres principios importantes, los cuales son: preservar y aumentar el capital natural, optimizar el rendimiento de los recursos y promover la efectividad del sistema. (Cerdá & Khalilova, 2018). El capital natural hace referencia a los recursos naturales renovables y no renovables.

### Principio 1: preservar y aumentar el capital natural.

Una economía circular preserva el capital natural mediante el control de stocks y equilibrio de flujos y lo aumenta creando condiciones para la regeneración del suelo y fomentando flujo de nutrientes en el sistema. Un aspecto importante en este principio es la innovación y selección en tecnologías y procesos para que sean más eficientes. (Cerdá & Khalilova, 2018).

### Principio 2: optimizar el rendimiento de los recursos

La optimización se logra mediante la planeación y diseño de los procesos para facilitar la circulación de materiales y productos con niveles altos de utilidad; busca generar bucles o ciclos dentro

de los procesos para preservar la energía, extender la vida del producto y optimizar la reutilización.

Un bucle se define como una serie de pasos o instrucciones que se repiten mientras no se cumpla una condición establecida, por ejemplo, en la Figura no. 10 se observa el bucle de la economía circular el cual consiste en rechazar la adquisición de materias primas, para eso es necesario redefinir el proceso, reducir la producción, reutilizar o reparar, recoger, reciclar y así sucesivamente para que el uso de estas tenga como destino final el mínimo desperdicio.

Aplicando la economía circular utilizaríamos los granos de cebada como materia prima, para la producción de cerveza y de harina de cebada malteada, en donde se generará un bucle dentro del proceso de producción de la cerveza para la fabricación de la harina a partir de la reutilización del bagazo de cerveza. Así en lugar de utilizar el grano de cebada nuevo se reutilizará y consumirá algo que ya se encuentra dentro de un proceso productivo.

Para esto es importante definir el diseño de producción de la harina a partir del bagazo de cerveza, facilitando la producción y su consumirlo, recogiendo el bagazo de la cervecería, procesarlo y así sucesivamente para que de la producción de cerveza se obtengan los mínimos desperdicios.

Figura 12 Bucle de economía circular



Fuente: Sostenibilidad y economía circular (Fernández, 2018).

### Principio 3: promover la efectividad del sistema

Una vez tengamos reestablecidos los procesos hay que garantizar su efectividad. La cual se mide mediante la reducción de insumos, menor utilización de recursos naturales, reemplazar los recursos no renovables por renovables, extraer materias primas de manera sostenible, reducir las emisiones de efecto invernadero y la contaminación a través de ciclos materiales limpios, disminuir la pérdida de materiales, minimizar la acumulación de desechos y mantener el valor de los productos mediante la extensión de la vida útil.

## VI. METODOLOGÍA

### A. Localización

Se trabajó con los subproductos provenientes de la filtración del mosto en la producción de cerveza artesanal ubicada en Camino a San Miguel Dueñas, Ciudad Vieja

### B. Metodología.

#### 1. Obtención del bagazo de cerveza húmedo

Las muestras de bagazo de cerveza fueron obtenidas de la cervecería después del proceso de filtrado del mosto a una temperatura entre 60 °C y 65 °C, se almacenaron en recipientes plásticos con tapadera tipo lecheros, los cuales fueron llenados en caliente, sometidos a refrigeración y transportados a la planta de alimentos de la universidad del valle de Guatemala a 48.9 km. La temperatura a la que se obtuvo la muestra está dentro del rango de peligro de los alimentos, por esta razón se congeló para evitar la proliferación de microorganismos.

#### 2. Preparación del bagazo de cerveza

Una vez en planta el bagazo de cerveza húmedo fue pasteurizado con el fin de disminuir el contenido de microorganismos y eliminar las bacterias patógenas que puedan contener como *Escherichia Coli* y *Salmonella*. El proceso de pasteurización se llevó a cabo en ollas de acero inoxidable con agua a modo que cubriera por completo la muestra, se calentó a una temperatura de 85°C aproximadamente y se mantuvo la muestra a esa temperatura por 25 min, una vez pasado el tiempo se realizó un choque térmico por 15 min con agua fría. Una vez pasteurizado el bagazo de cerveza se centrifuga para eliminar el mayor contenido de agua libre en el medio.

#### 3. Deshidratación de bagazo de cerveza húmedo.

El bagazo de cerveza fue centrifugado y pasteurizado, se utilizó un secador de gabinetes, diseñado en la Universidad del Valle de Guatemala, el cual consta de 12 gabinetes de 60cm de largo, 60 cm de ancho y 10 cm de altura, una bomba y un sistema de gas para aumentar la temperatura del aire. Con un tiempo de deshidratación de 12 horas a una temperatura entre 55 y 60°C.

#### 4. Proceso de elaboración de harina

Para la elaboración de la harina de cebada malteada a partir del bagazo deshidratado de cerveza, se utilizó un molino de rodillos, y el ciclón. El molino de rodillos se empleó con el fin de

reducir el tamaño de partículas del bagazo deshidratado de cerveza para convertirlo en harina de cebada malteada y el ciclón con el fin de separar las partículas mediante fuerza centrífuga.

## 5. Validación del procedimiento tecnológico por medio de análisis microbiológico

Con el fin de establecer un proceso tecnológico que garantice la inocuidad de la materia prima, se realizó un análisis microbiológico al bagazo de cerveza húmedo. Se estudiaron dos condiciones, una para el control y el segundo para el proceso de pasteurizado. Esto para determinar en qué condiciones se encontraba la materia prima y brindar un proceso técnico en donde disminuir la carga microbiana. Se evaluó recuento total de bacterias aerobias mesófilas, recuento total de mohos, levaduras, recuento de coliformes totales, fecales como *Escherichia coli* y *Salmonella*. Se evaluaron 2 muestras, 1 muestra control y 1 muestra pasteurizada para bagazo húmedo.

### a. Recuento total de bacterias aerobias Mesófilas.

Para el recuento de bacterias mesófilas se utilizó el método de placa vertida para estimular el número de bacterias heterótrofas. Para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:

- 1) Pesar 25 g de la muestra con una espátula estéril en una bolsa estéril para homogeneizar y sin filtro Whirl-pack y agregar 225 ml de Caldo lactosado. Esta disolución corresponde a  $10^{-1}$  o dilución madre.
- 2) Homogeneizar la dilución en un Stomacher ® por 1 min a nivel intermedio.
- 3) Mediante el uso de pipetas estériles preparar las diluciones de  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ . Pipetear 1 mL en tubos con 9 mL de agua peptonada buferada pH 7.2. Las soluciones se hacen mediante dilución seriada en donde al agregar 1 ml de la dilución madre en un tubo de 9 ml con agua peptonada buferada pH 7.2 se obtiene la dilución  $10^{-2}$  y al diluir 1 ml de esta dilución se obtiene la dilución  $10^{-3}$ .
- 4) Agitar todas las diluciones con un agitador de tubos vortex evitando la formación de espuma.
- 5) Pipetear, por duplicado, 1 ml de cada dilución en cajas Petri estériles y debidamente rotuladas.
- 6) Añadir 12 a 15 mL de agar nutritivo (fundido y previamente enfriado a  $45^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) dentro de cada placa.
- 7) Inmediatamente mezclar las diluciones de las muestras y el medio uniforme por rotación alterna de placas Petri, en movimiento de ocho, sobre una superficie plana.
- 8) Dejar solidificar las placas e incubarlas invertidas a  $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  por 48 horas.
- 9) Contar las colonias utilizando el contador de colonias, presentes en cada placa y expresar el resultado como UFC/g.

Cálculos:

Para obtener el número de colonias, se multiplicó el promedio del número de colonias contadas por el factor de dilución (inverso de la dilución). Por ejemplo, para la dilución  $10^{-1}$ , el factor de dilución es 10. Para reportar el resultado si las placas de todas las diluciones no representan colonias, reportar como menor de una vez el recíproco de la dilución más baja. Es decir, si hemos usado las diluciones  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$  se reporta de una vez  $10 \times 1 = 10$  UFC/g.

El criterio de aceptación:

Se aceptaron las cajas que contienen de 30 a 300 colonias/g usando una cuenta colonias.

b. Recuento total de mohos y levaduras

Para el recuento total de mohos y levaduras se utilizó el siguiente procedimiento:

- 1) Pesar 25 g de la muestra con una espátula estéril en una bolsa estéril para homogeneizar y sin filtro Whirl-pack y agregar 225 ml de Caldo lactosado. Esta disolución corresponde a 10<sup>-1</sup> o dilución madre.
- 2) Homogeneizar la dilución en un Stomacher ® por 1 min a nivel intermedio.
- 3) Mediante el uso de pipetas estériles preparar las diluciones de 10<sup>-2</sup> y 10<sup>-3</sup>. Pipetear 1 mL en tubos con 9 mL de agua peptonada buferada pH 7.2. las soluciones se hacen mediante dilución seriada en donde al agregar 1 ml de la dilución madre en un tubo de 9 ml con agua peptonada buferada pH 7.2 se obtiene la dilución 10<sup>-2</sup> y al diluir 1 ml de esta dilución se obtiene la dilución 10<sup>-3</sup>.
- 4) Agitar todas las diluciones con un agitador de tubos vortex evitando la formación de espuma.
- 5) Pipetear, por triplicado, 0.1 ml de cada dilución en cajas Petri estériles y debidamente rotuladas.
- 6) Añadir 12 a 15 mL de Agar DRCB (Diclorán-Rosa Bengala- Cloranfenicol) fundido y previamente enfriado a 45°C ± 1°C dentro de cada placa.
- 7) Inmediatamente mezclar las diluciones de las muestras y el medio uniforme por rotación alterna de placas Petri, en movimiento de ocho, sobre una superficie plana.
- 8) Dejar solidificar las placas e incubarlas invertidas a 25°C ± 1°C por 5 días.
- 9) Contar las colonias utilizando el contador de colonias, presentes en cada placa y expresar el resultado como UFC/g.

Los cálculos y el criterio de aceptación utilizado fueron similares a los aplicados a como se reportan los resultados de recuento de bacterias aeróbicas mesófilas en parte de cálculos y criterios de aceptación.

c. Recuento de coliformes totales y fecales.

Los coliformes fecales son un subgrupo de bacterias coliformes totales que se encuentran en los intestinos y excrementos de los seres humanos y animales. Los coliformes fecales son capaces de fermentar la lactosa a 44°C mientras que los coliformes totales a 37°C. el 95% del grupo de los coliformes totales están formados por *Escherichia coli* y *Klebsiella*. Coliformes totales y fecales son sinonimia de mal higiene.

1) Detección de *Escherichia coli* Para determinar *Escherichia coli* en las muestras se siguió el siguiente procedimiento:

- a) Pesar 25 g de la muestra con una espátula estéril en una bolsa estéril para homogeneizar y sin filtro Whirl-pack y agregar 225 ml de Caldo lactosado. Esta disolución corresponde a 10<sup>-1</sup> o dilución madre.
- b) Homogeneizar la dilución en un Stomacher ® por 1 min a nivel intermedio.
- c) Mediante el uso de pipetas estériles preparar las diluciones de 10<sup>-2</sup> y 10<sup>-3</sup>. Pipetear 1 mL en tubos con 9 mL de agua peptonada buferada pH 7.2. las soluciones se hacen mediante dilución seriada en donde al agregar 1 ml de la dilución madre en un tubo de 9 ml con agua peptonada buferada pH 7.2 se obtiene la dilución 10<sup>-2</sup> y al diluir 1 ml de esta dilución se obtiene la dilución 10<sup>-3</sup>.

- d) Agitar todas las diluciones con un agitador de tubos vortex evitando la formación de espuma.
- e) Pipetear, 0.1 ml de cada dilución en cajas Petri estériles y debidamente rotuladas.
- f) Añadir 12 a 15 mL de agar chromocult (fundido y previamente enfriado a  $45^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ) dentro de cada placa.
- g) Inmediatamente mezclar las diluciones de las muestras y el medio uniforme por rotación alterna de placas Petri, en movimiento de ocho, sobre una superficie plana.
- h) Dejar solidificar las placas e incubarlas invertidas a  $35^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 48 horas.
- i) Examinar las placas bajo lentes de aumento utilizando el contador de colonias y con iluminación para comprobar la presencia de las típicas colonias coloreadas de *Escherichia Coli* y otras bacterias coliformes. Contar las colonias utilizando el contador de colonias, presentes en cada placa y expresar el resultado como UFC/g.
- j) Para confirmar la presencia de *Escherichia Coli* se toman las colonias presuntivas como *Escherichia coli* y se siembran en baterías bioquímicas TSI, LIA, Citrato y MIO. Las cuales se incuban a  $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

2) Detección de *Salmonella*:

Para detección de *Salmonella* se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- a) Pesar 25 g de la muestra con una espátula estéril en una bolsa estéril para homogeneizar y sin filtro Whirl-pack y agregar 225 ml de Caldo lactosado. Esta disolución corresponde a  $10^{-1}$  o dilución madre.
- b) Homogeneizar la dilución en un Stomacher ® por 1 min a nivel intermedio.
- c) Mediante el uso de pipetas estériles preparar las diluciones de  $10^{-2}$  y  $10^{-3}$ . Pipetear 1 mL en tubos con 9 mL de agua peptonada buferada pH 7.2. las soluciones se hacen mediante dilución seriada en donde al agregar 1 ml de la dilución madre en un tubo de 9 ml con agua peptonada buferada pH 7.2 se obtiene la dilución  $10^{-2}$  y al diluir 1 ml de esta dilución se obtiene la dilución  $10^{-3}$ .
- d) Agitar todas las diluciones con un agitador de tubos vortex evitando la formación de espuma.
- e) Pipetear, 1 ml de la disolución  $10^{-1}$  en el tubo con caldo de enriquecimiento rappaport y 1 mL en el tubo de enriquecimiento de tetrionato e incubar por 24 horas en baño María a  $42 \pm 1^{\circ}\text{C}$  y por 24 horas a  $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$  por 24 horas respectivamente.
- f) Mezclar y estriar con asa bacteriológica del caldo de tetrionato y del caldo rappaport en Agar XLD (Xilosa, Lisina, Desoxicolato) y agar Entérico Hektoen e incubar a  $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.
- k) Observar colonias características de *Salmonella*.
- l) Para confirmar la presencia de *Salmonella* en las muestras se toman las colonias presuntivas como *Salmonella* y se siembran en baterías bioquímicas TSI, LIA, Citrato y MIO. Las cuales se incuban a  $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$  por 24 horas.

6. Análisis fisicoquímicos de la cebada malteada humedad o bagazo de cerveza húmedo y de la harina de cebada malteada

a) Determinación de densidad:

Con el fin de determinar la densidad de las muestras se siguió el siguiente procedimiento:

- 1) Pesar una probeta vacía en una balanza analítica.

- 2) Agregar determinada cantidad de la muestra en la probeta con el fin de determinar el volumen que ocupa y el peso.
- 3) Hacer triplicados de cada muestra.
- 4) Calcular la densidad de cada una de las muestras y el promedio.

Cálculos:

Una vez obtenido el peso y el volumen de la muestra se divide el peso dentro del volumen y obtener la densidad.

$$Densidad = \frac{masa (kg)}{volumen (m^3)}$$

b) Perfil de capacidad de retención de solventes (SRC)

Para el perfil de solventes se utilizaron las soluciones de agua destilada, ácido láctico 5% (p/p), sacarosa 50% (p/p) y carbonato de sodio 5% (p/p). Se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- 1) Pesar 5 gramos de la muestra en base seca y colocarlo en tubos de centrífuga previamente tarados.
- 2) Hidratar cada muestra por separado con 25 g de las soluciones a evaluar.
- 3) Agitar vigorosamente por 3 minutos.
- 4) Centrifugar por 5 min a 1220 rpm.
- 5) Descartar el sobrenadante.
- 6) Obtener la masa de cada porción hidratada y calcular el porcentaje de SRC.

Cálculos:

$$\% SRC = \left( \left( \frac{Mh}{M} \right) * \left( \frac{86}{100 - \%H} \right) - 1 \right) * 100$$

Donde Mh es el peso en gramos de la muestra hidratada, M es el peso en gramos de la muestra seca, %H es el porcentaje de humedad de la muestra y 86 es la cantidad de sólidos de una harina con 14% de humedad.

c) Absorción de agua

La absorción de agua hace referencia a la cantidad de agua que absorben 100 g de harina. Para obtener la absorción de agua se utilizó el siguiente procedimiento:

- 1) En un tubo cónico de centrífuga de 15 mL, pesar 0.5 gramos de harina en
- 2) Agregar 4 mL de agua.
- 3) Agitar la muestra durante 30 segundos.
- 4) Dejar que la suspensión se asiente por 10 min.
- 5) Centrifugar por 25 min a 2300 rev/min.
- 6) Con una pipeta graduada, extraer el líquido sobrenadante.
- 7) Anotar la lectura obtenida por la pipeta graduada con el fin de obtener el volumen de líquido absorbido por el almidón.
- 8) Calcular el porcentaje de absorción de agua.

Cálculos:

$$\text{Absorción de agua (\%)} = \left( \frac{\text{peso del agua utilizada}}{\text{peso de la harina utilizada}} \right) * 100$$

d) Tamaño del grano por medio de granulometría

La granulometría es la distribución en porcentaje de los diferentes tamaños de la muestra por medio de un sistema de zarandas con diferente mesh. Se indica de mayor a menor tamaño, el porcentaje de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los tamices. Para determinar el tamaño del grano se llevó a cabo el siguiente procedimiento:

- 1) Pesar cada una de las zarandas del tamizador incluyendo la tapadera y la base.
- 2) Pesar 10 gramos de muestra y agregar al tamizador.
- 3) Agregar a la serie de zarandas con diferentes mesh.
- 4) Agitar por 10 min a una velocidad de 5.
- 5) Pesar nuevamente cada una de las zarandas del tamizador incluyendo la tapadera y la base.
- 6) Obtener la diferencia de peso y obtener el porcentaje de cada tamaño que paso o se quedó retenido en cada uno de los tamices. Esta diferencia es llamada como el peso retenido.
- 7) Se hace una sumatoria del peso retenido y se obtiene el porcentaje del peso retenido.
- 8) Se calcula el tamaño máximo.
- 9) Obtener una curva granulométrica de cada una de las muestras tamizadas.

e) Determinación de acidez titulable

La acidez titulable es la acidez de la harina de origen vegetal expresada como ácido sulfúrico. Para determinar la acidez titulable se realizó el siguiente procedimiento:

- 1) Pesar 18 g de la muestra
- 2) Añadir 200 ml de agua destilada y agitar.
- 3) Colocar la solución en baño maría a una temperatura entre 40 y 50°C por 45 minutos.
- 4) Agregar 50 mL de agua destilada y filtrar
- 5) Agregar el filtrado a matraces de 100 mL.
- 6) Agregar 2 o 3 gotas de indicador fenolftaleína al 1% como indicador.
- 7) Titular con una solución de NaOH 0.1 N
- 8) Tomar la lectura de la bureta y calcular la cantidad de hidróxido de sodio gastados para neutralizar la acidez en la muestra.

Cálculos:

$$\text{porcentaje de acidez (\%)} = \left( \frac{\text{gasto de NaOH} * N * F * \text{mili eq de acido}}{\text{peso de muestra}} \right) * 100$$

En donde: F = factor de solución de NaOH igual a 1. N = Normalidad del NaOH y 0.049 los miliequivalentes de ácido sulfúrico.

f) Determinación de color

Para determinar el color de las diferentes muestras se utilizó el colorímetro Hunter Lab para el cual se cabo el siguiente procedimiento:

- 1) Calibrar el colorímetro Hunter Lab con cada uno de los estándares.
- 2) Moler aproximadamente 50 gramos de muestra.
- 3) Medir cada una de las muestras con el colorímetro hunter lab.
- 4) Anotar cada uno de los datos para los valores de L, a y b.
- 5) Determinar si hay diferencia significativa entre el color de las diferentes muestras.

7. Caracterización proximal de la harina de bagazo de cerveza.

a) Determinación de humedad (AOAC 930.15)

El agua es uno de los componentes principales de la mayoría de los alimentos, en donde el contenido de humedad aproximado y esperado puede afectar la elección del método de medición. El agua se puede encontrar en tres estados: libre, absorbida y agua de deshidratación (Nielsen, 2010).

La determinación de humedad se hará por medio de diferencia de peso, a partir de una muestra de 5g la cual se colocará en un cristizador y con ayuda de una balanza analítica antes y después de calentarlo a 70°C en una estufa hasta un peso constante o menos de 0.001 de variación en 2 pesadas consecutivas. Se utilizará a 70°C por su alto contenido de almidón.

Antes de pesar las muestras se deben colocar en un desecador durante un tiempo de 30 min con el fin de que las mismas reducen su temperatura para la posterior manipulación y sin absorber la humedad del ambiente. Se necesita, marcador, guantes, espátula, un mortero de pistilo, balanza analítica, una desecadora, una estufa

b) Determinación de actividad de agua (aw)

Para la determinación de la actividad de agua se utilizó el equipo AQUALAB (previamente calibrado) a una temperatura de 25°C para esto las muestras se deben ser trituradas para su determinación. Este método consiste en la determinación del punto de rocío en donde la muestra llega al equilibrio con el aire presente en el espacio de cabeza de una cámara sellada que contiene un espejo, un sensor óptico, un ventilador y un termómetro infrarrojo. El rango de medición de aw se encuentra entre 0.03 y 1, con una resolución de  $\pm 0.0001$ . Los materiales y equipos se puede mencionar el equipo AQUALAB, mortero o triturador, espátula.

c) Determinación de ceniza por método de gravimetría (AOAC 942,05)

Para la determinación de cenizas se utilizó el método gravimétrico AOAC 942,05 que se menciona a continuación:

- 1) Pesar el crisol o cápsula de porcelana, registrar el peso, sin tarar pesar 1 g de la muestra a analizar, registrar el peso.
- 2) Colocar las cápsulas en una estufa eléctrica por 1 hora a 100°C hasta que la muestra deje de emitir humo.
- 3) Calendar a 200°C por 1 hora. Elevar la temperatura hasta 650°C para lograr la

- incineración total por 12 horas.
- 4) La muestra ya incinerada se deja enfriar dentro de un desecador durante 1 hora para disminuir su temperatura, evitando la humedad. Registrar el peso.
  - 5) Calcular las cenizas por diferencia de peso.

d) Determinación de grasa por método de soxhlet (AOAC 920,39)

El método de soxhlet es un método gravimétrico por diferencia de peso entre la muestra y el extracto. El solvente adecuado para la extracción es el éter de petróleo o éter etílico anhidro. Para la determinación de grasas se utilizó el método de soxhlet AOAC 920,39 que se menciona a continuación:

- 1) Pesar el dedal de extracción de cerámica porosa presecada. Colocar 5 g de la muestra secada al vacío en el dedal y pesar de nuevo.
- 2) Pesar el vaso de extracción procesado.
- 3) Colocar el dedal de extracción de cerámica en el tubo de vidrio y luego en el condensador del aparato.
- 4) Agregar el solvente, en este caso 80 ml de éter etílico anhidro o éter de petróleo en el vaso de extracción y poner en el vaso de extracción en el calentador del aparato.
- 5) Extraer durante 4 h. la primera hora y media en la fase de inmersión a 110°C aquí la válvula de drenaje debe estar cerrada. La segunda en la fase de enjuague una hora y media a 110°C con la válvula de drenaje abierta y 1 hora en la parte de recolección a 140°C con las válvulas cerradas.
- 6) Bajar el calentador y dejar enfriar la muestra.
- 7) Retirar el vaso de extracción y dejar secar al aire durante la noche, y luego a 100°C durante 30 min. Enfriar el vaso de precipitados en el desecador y pesar.

Cálculos:

$$\text{peso de grasa en muestra} = (\text{beaker} + \text{grasa}) - (\text{beaker})$$

$$\text{porcentaje de grasa en base seca (\%)} = \left( \frac{\text{peso de grasa en muestra (g)}}{\text{peso de muestra seca (g)}} \right) * 100$$

e) Determinación de proteína por método de Kjeldahl para cereales y granos (AOAC 992.23)

El método de determinación de proteínas Kjeldahl, es donde las proteínas y otros componentes orgánicos de una muestra se reaccionan con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total se convierte en sulfato de amonio. El diferido se neutraliza con medio básico y se destila en una solución de ácido bórico. Los aniones borato formados se valoran con ácido normalizado lo cual se convierte en el nitrógeno en la muestra. Siendo este el contenido de proteína bruta contenida en el alimento. Este método puede medir los componentes no proteicos también como los provenientes del amoníaco y sulfato de amonio. La digestión se basa en el principio en donde la muestra se destruye por oxidación con ácido sulfúrico concentrado en ebullición. El nitrógeno se transforma en nitrógeno amoniacal inorgánico o amoníaco. Para llevar a cabo este análisis, se debe realizó el siguiente procedimiento:

- 1) Pesar 0.25g de la muestra analizar y agregar al tubo de digestión.

- 2) Añadir media pastilla catalizador de Kjeldahl y 6 ml de ácido sulfúrico al 95 – 98%.
- 3) Colocar los tubos de digestión en el rack de transporte y armar el sistema de digestión en conjunto con el colector de vapores. Por 2 horas y 15 minutos a 400°C y se enfría a temperatura ambiente. Se utilizó un SpeedDigesger K-425.
- 4) Una vez termina a la digestión se lleva a cabo la destilación con la unidad de destilación KjelFlex K-350 en donde se agrega una solución de NaOH 10N y 10 ml de ácido bórico al 4%, se recoge en un Erlenmeyer de 250mL la cual posee 10 ml de solución rojo de metilo como indicador.
- 5) Se lleva a cabo la titulación con ácido clorhídrico a 0.105N hasta que la solución vire. Se registra el volumen utilizado para la valoración.
- 6) Se expresan los resultados en porcentaje de nitrógeno.

Cálculos:

$$\text{Porcentaje de nitrogeno (\%)} = \left( \frac{0.105 N (V_1 - V_0)}{\text{Peso de muestra (g)}} \right)$$

$$\text{Porcentaje de nitrogeno (\%)} = \text{porcentaje de ntirogeno} * F$$

Donde el V1 y Vo hacen referencia el volumen de HCl consumido en la valoración (mL) y el volumen de HCl consumido en la valoración de un blanco (mL) respectivamente, N hace referencia la normalidad de HCl, F es el factor de conversión para pasar de contenido de nitrógeno a proteínas, en este caso se recomienda un factor de conversión de 6.25, debido a que la mayoría de las proteínas contienen 16% de N2 a modo de 100/16 =6.25.

f) Determinación de fibra dietética (AOAC 985.29)

La determinación de la fibra insoluble es importante no solo por sí misma, si no por el contenido calórico de un alimento. La fibra dietética es la suma de los componentes no digeribles de un alimento o producto alimenticio, es un material de la pared celular de las plantas como celulosa, hemicelulosas, lignina y por lo tanto está compuesta principalmente por moléculas de polisacáridos. Siendo las moléculas de amilosa y amilopectina del almidón conocidas como digeribles. Para la determinación de fibra se combina los métodos gravimétricos con enzimáticos, a continuación, se muestran los pasos a seguir:

- 1) Pesar 1g de muestra seca desgrasada (w1) por duplicado, colocar en un beaker de precipitados de 600 ml.
- 2) Agregar 50 mL de buffer de fosfato a pH 6.5.
- 3) **Adición de la enzima  $\alpha$ -amilasa:** Añadir 0.10 mL alfa amilasa, mezclar, tapar con un papel aluminio. Colocar en baño maría a una temperatura de 95°C por 15 min y luego dejar enfriar a temperatura ambiente. Añadir 10 ml de una solución de NaOH 0.275N
- 4) **Adición de la enzima proteasa:** Ajustar pH a 7.5  $\pm$  0.2, agregar la solución de 0.05g de proteasa en 1 ml de amortiguador de fosfatos, mezclar, tapar con papel aluminio y colocar a 60°C por 30 min en baño maría y dejar enfriar a temperatura ambiente. Añadir 10 ml de solución 0.325M de HCl.
- 5) **Adición de la enzima amiloglucosidasa:** Ajustar el pH entre 4.0 y 4.6, agregar 0.1 mL de amiloglucosidasa, mezclar, tapar con papel aluminio y dejar actuar durante un tiempo de 30 min a una temperatura de 60°C en baño maría, agregar 4 volúmenes de etanol al 95%, en total 280 ml a cada vaso de precipitados, y dejar sedimentar por toda la noche.
- 6) **Filtrado y lavado:** Pesar crisoles de fondo poroso, pesar y agregar 0.5 g de celite. Dejar secar a 100°C overnight.

- 7) Armar el sistema de filtrado, filtrar la muestra y realizar lavados con 60 ml de etanol al 78%, 20 ml de etanol 95% y con 20 ml de acetona.
- 8) Dejar secar las muestras lavadas a 60°C overnight, enfriar en desecados y pesar (w2).
- 9) **Determinación de proteínas y cenizas:** para ello se debe realizar el procedimiento mencionado anteriormente (pasos c y e) para determinar proteína y ceniza. Expresar los resultados en porcentajes.

Cálculos:

$$\begin{aligned} \text{Peso residuo promedio (R)} \\ = \text{Peso muestra inicial (W)}_1 - \text{peso residuo postdigestiones (W)}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Porcentaje de fibra dietética total (\%FDT)} \\ = \left( \frac{R_{\text{muestra}} - P_{\text{muestra}} - A_{\text{muestra}} - B}{\text{Peso de muestra inicial PM (g)}} \right) \end{aligned}$$

Donde el porcentaje de fibra dietética total FDT está dado por la resta del peso del residuo promedio en gramos (R), el peso promedio de proteína obtenido de residuos de postdigestiones (P), (A) el peso de cenizas promedio en el residuo postdigestiones, (B) correcciones por blanco de residuo, proteína y cenizas, (PM) peso muestra inicial promedio. Se recomienda utilizar una de las muestras para determinar proteína cruda por el método de Kjeldahl (AOAC, 2000) y las muestras restantes para determinar cenizas por calcinación.

#### g) Determinación de fibra cruda

La fibra cruda hace referencia a todas las sustancias orgánicas no nitrogenadas que no se disuelven tras hidrólisis sucesivas, una en medio ácido y otra en medio alcalino. La fibra cruda está compuesta por compuestos como celulosa, hemicelulosas y lignina que forman la mayoría de fibra insoluble de la fibra. Para lo cual se muestran los pasos a continuación:

- 1) Pesar en beaker de precipitados 1g de la muestra desgrasada a analizar.
- 2) Diluir la muestra con 200 ml de solución de ácido sulfúrico al 1.25%, llevar a ebullición por el digestor por ½ hora. Filtrar y hacer lavados con agua destilada caliente hasta neutralizar. Raspar la manta y agregar de regreso al beaker.
- 3) Diluir la muestra obtenida del rapado con 200 ml de solución de NaOH a 1.15% y ebullición por ½ hora nuevamente.
- 4) Filtrar y lavar con agua destilada caliente hasta neutralizar. Raspar la manta y colocar el residuo en crisoles de vidrio con fondo poroso.
- 5) Llevar al horno a 60°C por toda la noche los crisoles de vidrio de fondo poroso. Pesar y registrar el peso obtenido.
- 6) Incinerar la muestra en la mufla a 550°C por 3 horas. Dejar enfriar y pesar.
- 7) Expresar los resultados en porcentaje.

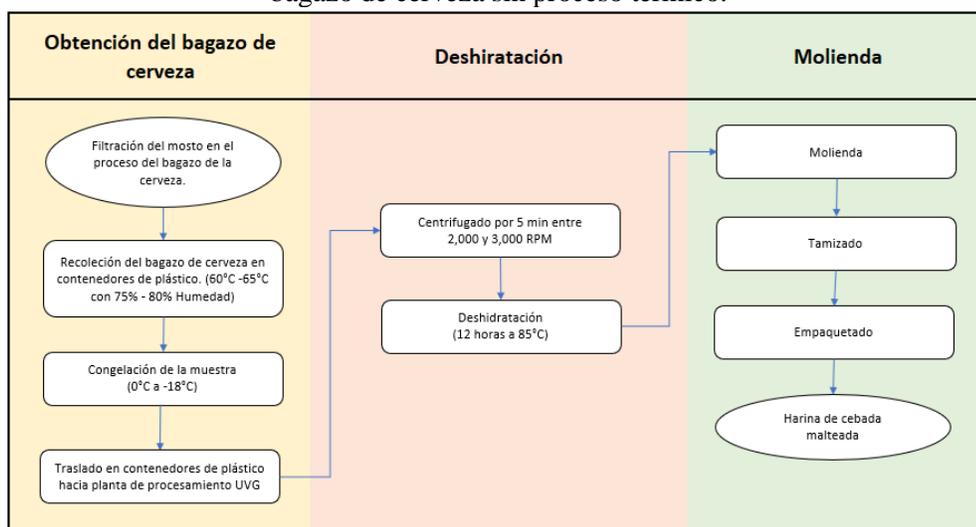
#### h) Carbohidratos por diferencia

El contenido de carbohidratos se determinará por medio de la diferencia entre 100 y la suma de los porcentajes de agua, proteínas, lípidos totales, cenizas y fibra total. Determinación del cloruro de sodio por medio de espectroscopia de absorción atómica. Dentro de los materiales y equipos a utilizar están el HCl, filtros 0.45 µm, patrones, blanco y diluciones de la muestra con concentraciones finales de 2000 ppm como supresor de ionización.

## VII. RESULTADOS

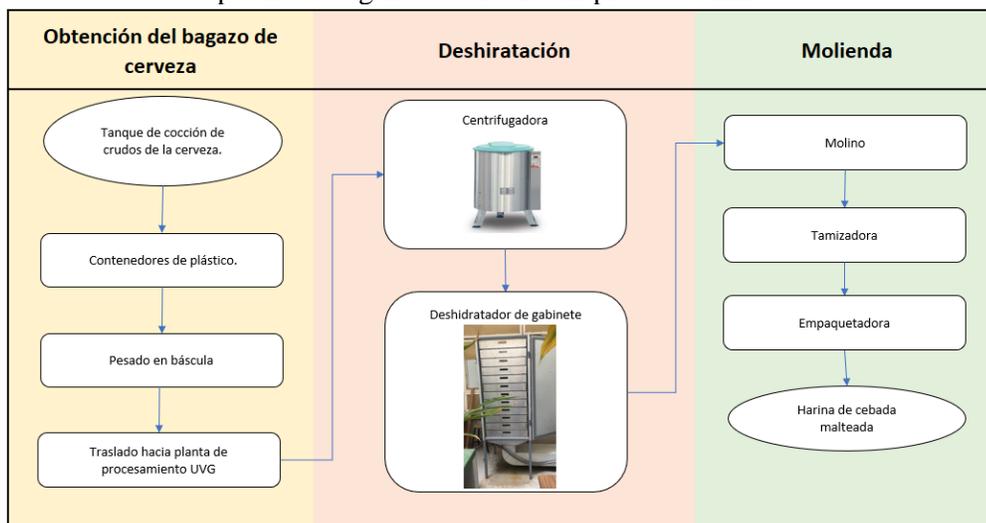
A. Proceso tecnológico para la elaboración de harina de cebada malteada validado microbiológicamente.

Figura 13 Diagrama de tecnología para la producción de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza sin proceso térmico.



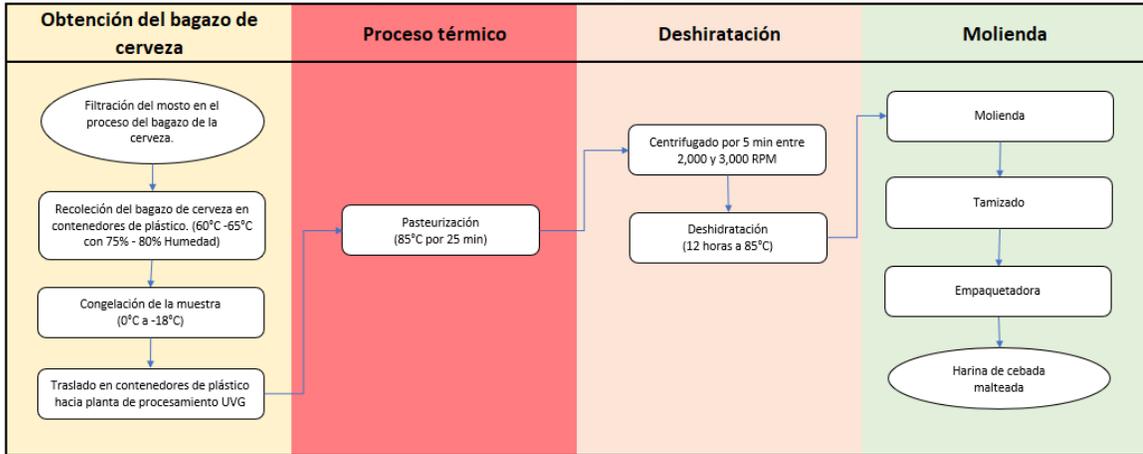
Fuente de elaboración propia.

Figura 14 Diagrama de flujo de ingeniería para la producción de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza sin proceso térmico.



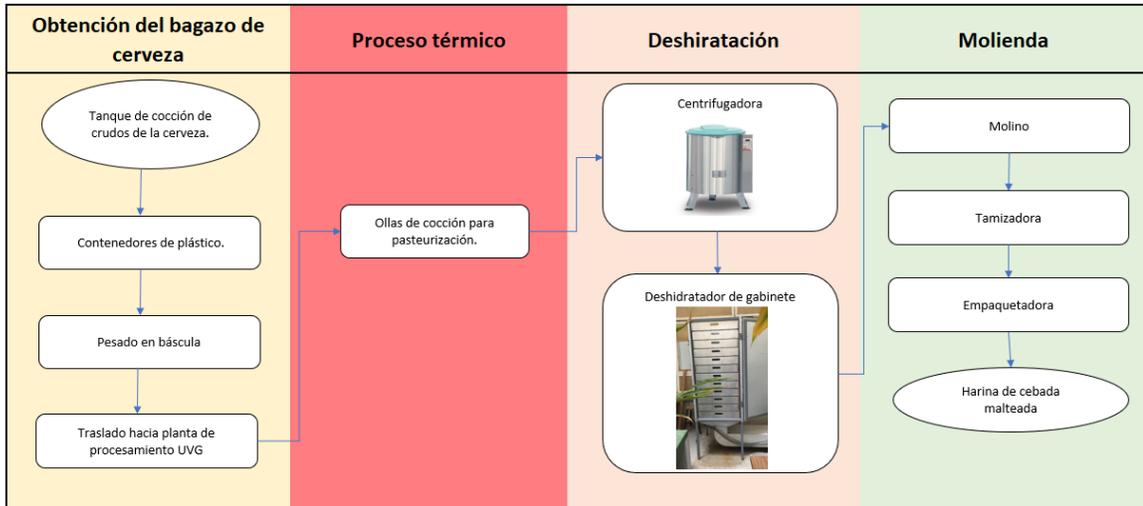
Fuente de elaboración propia.

Figura 15 Diagrama de tecnología para la producción de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza con proceso térmico



Fuente de elaboración propia.

Figura 16 Diagrama de flujo de ingeniería para la producción de harina de cebada malteada a partir del bagazo de cerveza con proceso térmico



Fuente de elaboración propia.

## B. Análisis microbiológicos de la materia prima.

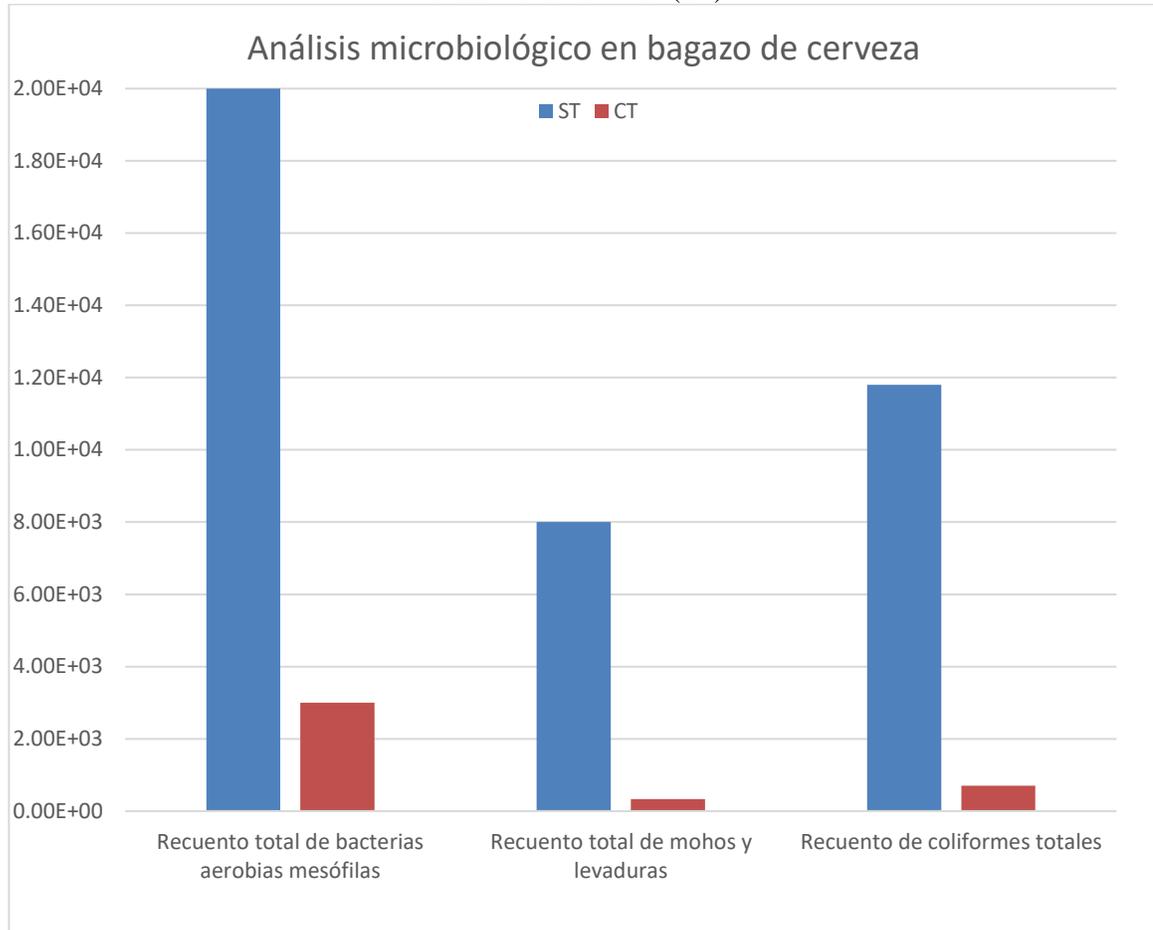
Cuadro 6 Resultado de análisis microbiológico para las muestras de materia prima con tratamiento térmico y sin tratamiento térmico

Determinación	Bagazo de cerveza fresco	
	ST	CT
Recuento total de bacterias aerobias mesófilas	MNC	3,000 ufc/g
Recuento total de mohos y levaduras	8,000 ufc/g	330 ufc/g
Recuento de coliformes totales	11,800 ufc/g	700 ufc/g
Detección de <i>Escherichia coli</i>	Ausencia /25g	Ausencia /25g
Detección de <i>Salmonella</i>	Ausencia /25g	Ausencia/25 g

ST hace referencia a las muestras sin proceso térmico y CT a las muestras con proceso térmico de

pasteurización. MNC muy numeroso para contar. El rango preferible para recuento total de aerobios mesófilos es 100-50000 UFC/g, para mohos y levaduras 100 – 200 UFC/g, para coliformes 10 -100 UFC/g, Ausencia/g para patógenos.

Figura 17 Comparación microbiológica entre un proceso con tratamiento térmico (CT) y sin tratamiento térmico (ST).



Donde CT es tratamiento térmico y ST es sin tratamiento térmico. En el cual se observa que el recuento total de bacterias aerobias mesófilas sin tratamiento térmico es muy numeroso para contar y que con el tratamiento térmico se logra disminuir potencialmente, al igual que en el recuento de mohos y levaduras y coliformes totales. Por lo tanto, es imprescindible el tratamiento térmico para garantizar la inocuidad de la harina.

### C. Caracterización del bagazo de cerveza húmedo

#### 1. Fisicoquímicos

Cuadro 7 Resultados de los análisis fisicoquímicos del bagazo húmedo de cerveza caramelo.

Parámetro medio	Bagazo húmedo de cerveza
Actividad de agua	0.941 ± 0.001
Humedad (%)	72.55 ± 0.18
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.46 ± 0.05

## 2. Proximal

Cuadro 8 Composición fisicoquímica del bagazo de cerveza caramelo en base seca.

<b>Parámetro</b>	<b>Bagazo húmedo de cerveza (base seca)</b>
Humedad (%)	5.71 ± 0.004
Proteína (%)	18.27 ± 0.229
Grasa (%)	13.36 ± 0.005
Cenizas (%)	3.62 ± 0.258
Fibra dietética (%)	31.36 ± 6.299
Carbohidratos (%)	28.34 ± 0.127

Donde se observan el contenido de porcentaje de humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra dietética y carbohidratos obtenida del bagazo de cerveza caramelo en base seca.

## 3. Color

Cuadro 9 Medición de color en el bagazo de cerveza caramelo en base seca.

<b>Parámetro</b>	<b>Bagazo húmedo de cerveza (base seca)</b>
L	53.63 ± 0.09
a	5.54 ± 0.12
b	22.18 ± 0.43

En donde L\* representa la luminosidad, siendo 0 color negro y 100 color blanco. a\* positivo representa colores rojos y negativo colores verdes. b\* positivo representa colores amarillos y negativos colores azules.

### D. Caracterización fisicoquímica de la harina de cebada malteada

#### 1. Fisicoquímicos

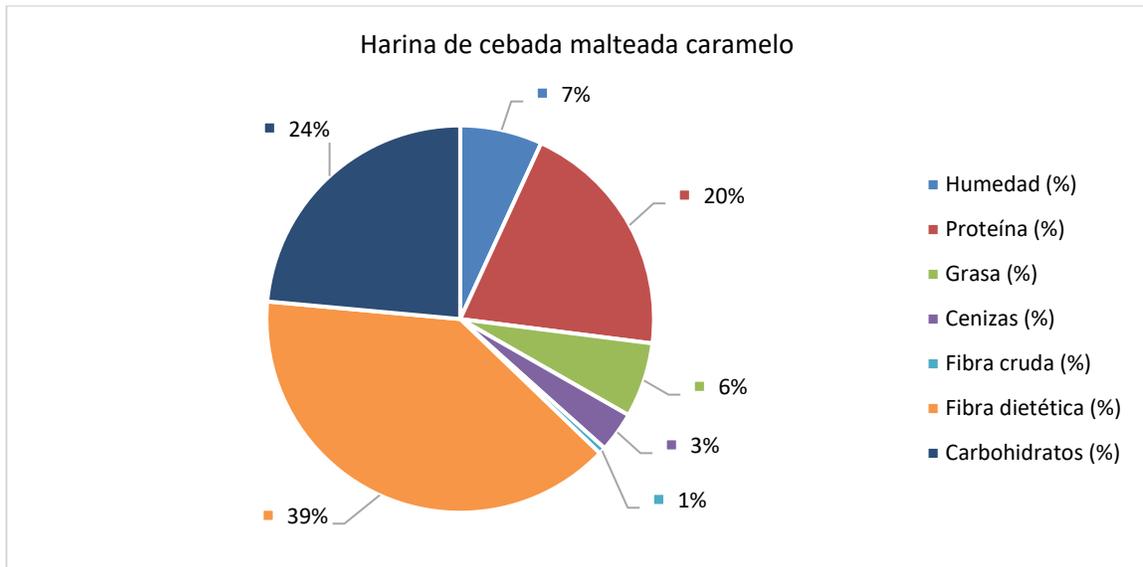
Cuadro 10 Análisis fisicoquímicos de las harinas de cebada malteada a partir de diferentes maltas.

<b>Parámetro</b>	<b>Harina de cebada malteada Caramelo (base seca)</b>	<b>Harina de cebada malteada Roja (base seca)</b>	<b>Harina de cebada malteada Base (base seca)</b>
Actividad de agua	0.571 ± 0.002	0.661 ± 0.001	0.508 ± 0.004
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.490 ± 0.008	0.476 ± 0.004	0.450 ± 0.006
Absorción de agua (%)	180 ± 0.03	100 ± 0.01	200 ± 0.03
Acidez (% ácido sulfúrico)	0.05 ± 0.01	0.054 ± 0.001	0.31 ± 0.02

En donde se observa la actividad de agua, densidad, absorción de agua y acidez con ácido sulfúrico para cada una de las diferentes harinas de cebada malteada, caramelo, roja y base.

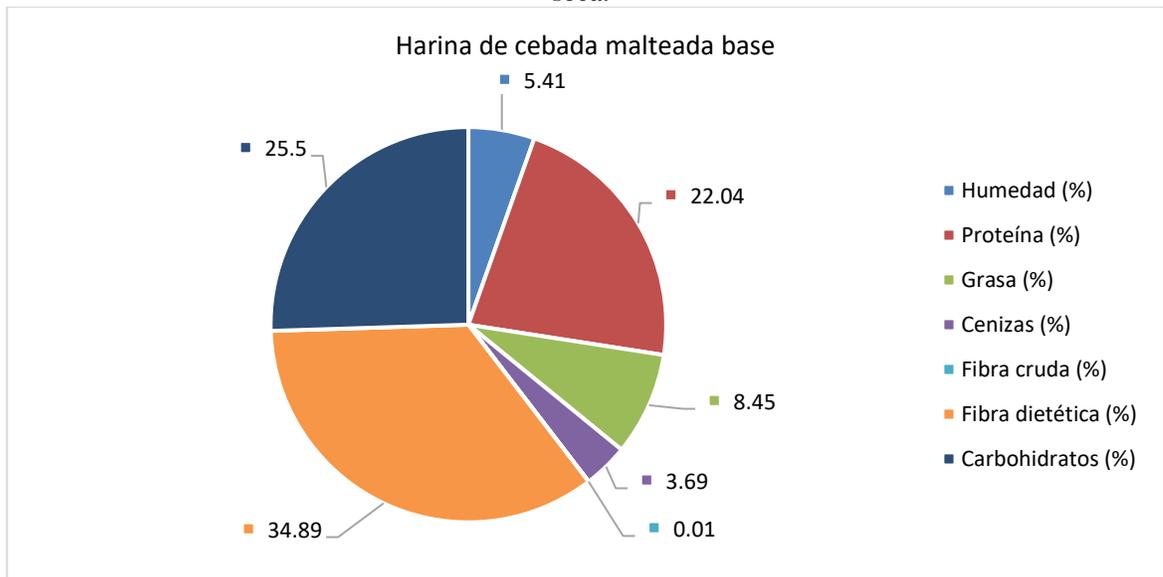
## 2. Proximal

Figura 18 Diagrama de pie para factores proximales de la harina de cebada malteada caramelo en base seca.



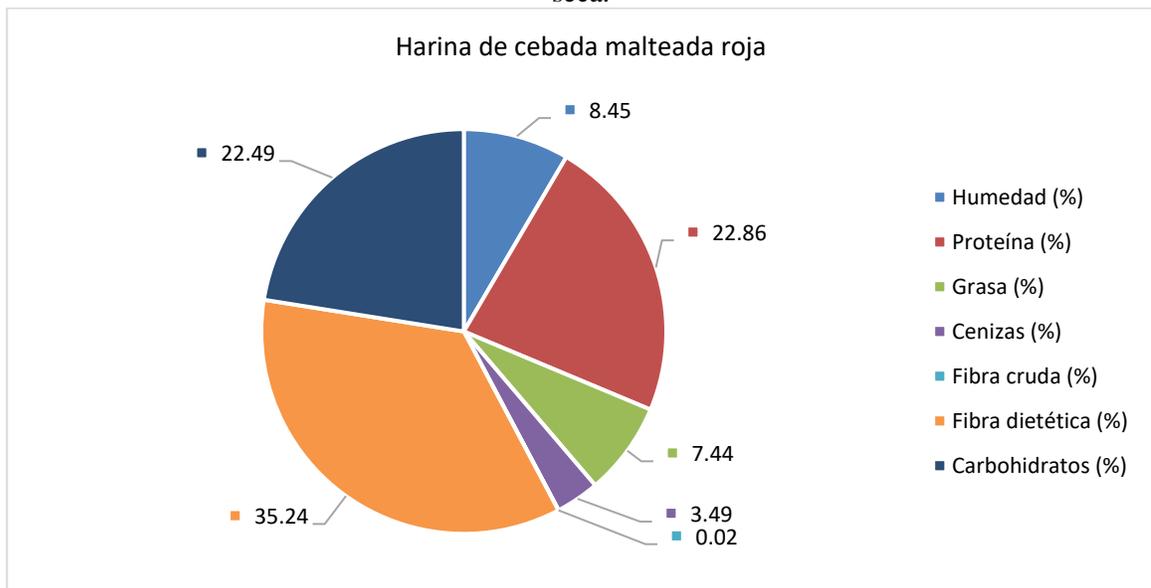
En el diagrama se observa que el 39.36% corresponde a la fibra dietética, el 23.61% al contenido de carbohidratos y el 20.2% al contenido de proteína, para un total de carbohidratos totales del 63.54% siendo en la malta caramelo en la que mayor contenido de carbohidratos totales posee y menor contenido de proteína y grasa en comparación con las maltas evaluadas.

Figura 19 Diagrama de pie para factores proximales de la harina de cebada malteada base en base seca.



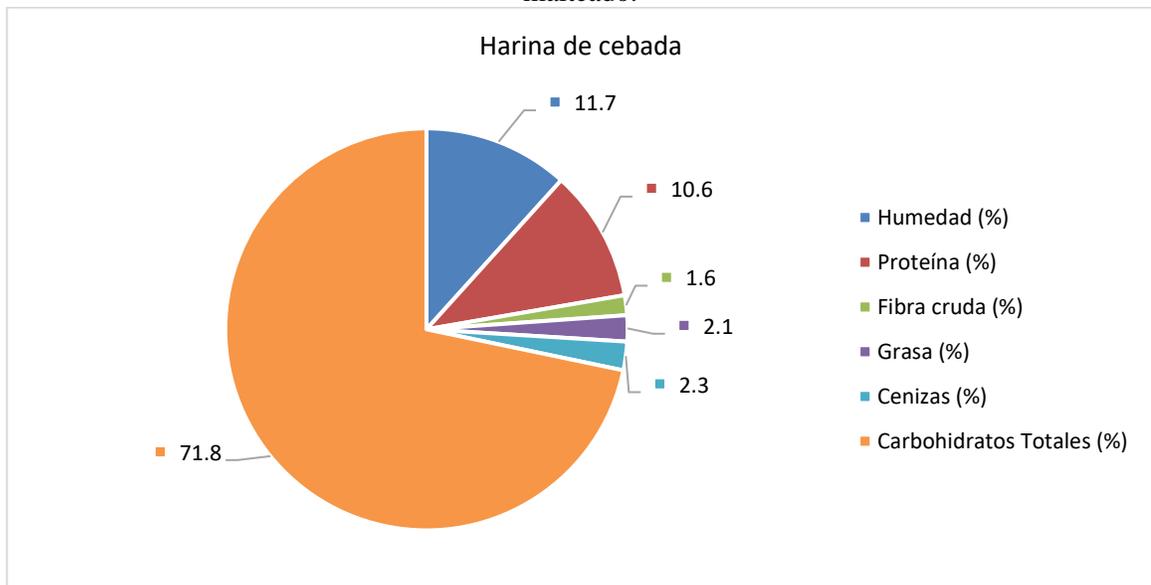
El mayor contenido en la harina de cebada malteada base es la fibra dietética con un 34.89%, seguido de un 25.5% correspondiente a los carbohidratos y el 22.04% de proteínas. El contenido de carbohidratos totales en la harina de cebada malteada base corresponde al 60.40%. Posee mayor contenido de grasa con 8.45%,

Figura 20 Diagrama de pie para factores proximales de la harina de cebada malteada roja en base seca.



El 35% de la harina de cebada malteada roja corresponde a la fibra dietética, el 23% al contenido de proteína empatado con el 23% de los carbohidratos y el 7% de contenido de grasa. El total de carbohidratos contenido en la harina es del 57.75% siendo la que menor contenido de carbohidratos posee de las maltas evaluadas.

Figura 21 Diagrama de pie para factores proximales de la harina de cebada sin proceso de malteado.



El 71.8% de la harina de cebada proveniente del grano sin maltear corresponde a los carbohidratos totales (la suma de los azúcares almidones y fibra dietética), el 2.1% corresponde al contenido de grasa, tan solo el 1.6% a fibra cruda y el 10.6% a la proteína. Es importante mencionar que el proceso de malteado disminuye el contenido de carbohidratos totales, aumenta la proteína contenida en la harina, aumenta la disponibilidad de la fibra y el contenido de grasa lo cual se debe a que la parte del germen del grano esta molido en conjunto con el pericarpio

Cuadro 11 Composición fisicoquímica de las harinas de cebada malteada a partir de diferentes maltas.

Parámetro	Harina de cebada malteada caramelo (base seca)	Harina de cebada malteada roja (base seca)	Harina de cebada malteada base (base seca)
Humedad (%)	6.88 ± 0.127	8.45 ± 0.027	5.41 ± 0.251
Proteína (%)	20.20 ± 0.360	22.86 ± 0.067	22.04 ± 0.079
Grasa (%)	6.27 ± 0.065	7.44 ± 0.007	8.45 ± 0.079
Cenizas (%)	3.37 ± 0.003	3.49 ± 0.014	3.69 ± 0.073
Fibra cruda (%)	0.57 ± 0.002	0.02 ± 0.0002	0.01 ± 0.0001
Fibra dietética (%)	39.36 ± 1.021	35.24 ± 0.183	34.89 ± 1.597
Carbohidratos (%)	23.61 ± 0.003	22.49 ± 0.096	25.50 ± 1.115

En el cuadro se observa el contenido fisicoquímico de porcentaje de humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra cruda, fibra dietética y contenido de carbohidratos para cada una de las harinas en base seca.

Cuadro 12 Composición fisicoquímica promedio de las 3 harinas elaboradas a partir de malta roja, base y caramelo.

Parámetro	Promedio
Humedad (%)	6.91 ± 0.14
Proteína (%)	21.70 ± 0.17
Grasa (%)	7.95 ± 0.05
Cenizas (%)	3.52 ± 0.03
Fibra cruda (%)	0.20 ± 1*e-3
Fibra dietética (%)	36.50 ± 0.93
Carbohidratos (%)	23.05 ± 0.40

En el cuadro se observa el contenido fisicoquímico promedio de porcentaje de humedad, proteína, grasa, cenizas, fibra cruda, fibra dietética y contenido de carbohidratos en base seca.

### 3. Color

Cuadro 13 Medición de color en harina de cebada de malteado a partir de diferentes maltas.

Parámetro	Harina de cebada malteada Caramelo	Harina de cebada malteada Roja	Harina de cebada malteada Base
L	60.99 ± 0.37	62.06 ± 0.25	60.89 ± 2.55
a	6.64 ± 0.43	6.74 ± 0.22	6.74 ± 0.22
b	25.25 ± 0.82	25.48 ± 0.36	25.48 ± 0.36

En donde L\* representa la luminosidad, siendo 0 color negro y 100 color blanco. a\* positivo representa colores rojos y negativo colores verdes. b\* positivo representa colores amarillos y negativos colores azules.

### 4. Capacidad de retención de solventes (SRC)

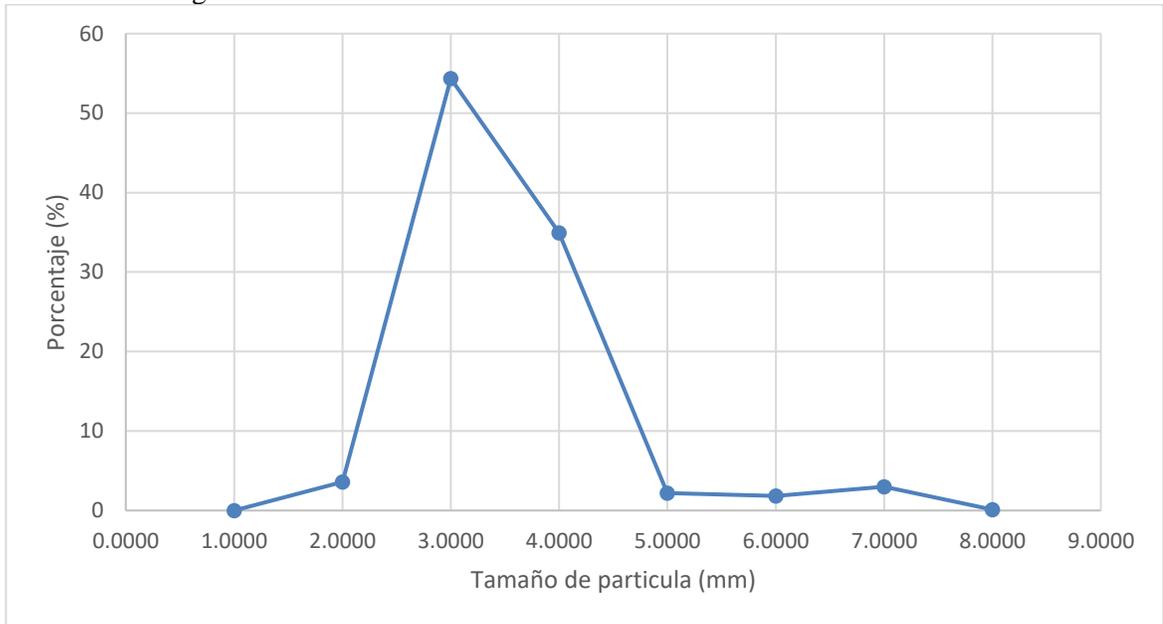
Cuadro 14 Análisis de capacidad de solventes para harina de cebada caramelo.

Solventes	Harina de cebada malteada Base (%)	Harina de cebada malteada Roja (%)	Harina de cebada malteada Caramelo (%)
Ácido láctico 5% (p/p)	275.60 ± 2.29	315.67 ± 0.27	286.49 ± 1.57
Sacarosa 50% (p/p)	326.03 ± 0.869	290.20 ± 2.30	310.72 ± 0.827

Solventes	Harina de cebada malteada Base (%)	Harina de cebada malteada Roja (%)	Harina de cebada malteada Caramelo (%)
Agua destilada (p/p)	303.41 ± 0.33	264.32 ± 2.94	249.11 ± 2.69
Carbonato de sodio (p/p)	334.08 ± 1.74	317.01 ± 1.44	305.21 ± 0.39

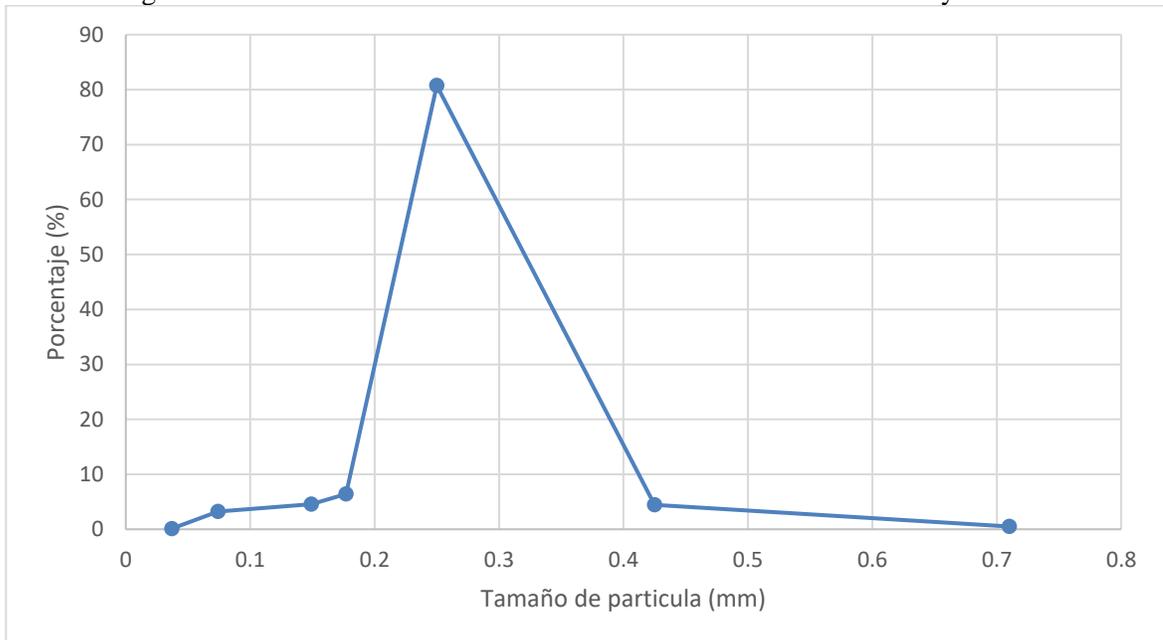
## 5. Análisis de granulometría

Figura 22 Granulometría de la harina de cebada malteada con molino.



Se obtuvo un tamaño de partícula de 40-60 mesh. (0.4250- 0.2500mg).

Figura 23 Granulometría de la harina de cebada malteada con molino y ciclón.



Se obtuvo un tamaño de partícula de 60-80 mesh (0.2500 - 0.1770 mg).

## 6. Resumen análisis estadístico

### a. Anova

Cuadro 15 Análisis estadístico ANOVA de para las muestras de harina.

	<b>Valor-p</b>	<b>Conclusión</b>
<b>Humedad</b>	0.0008	Sí hay diferencia significativa.
<b>Proteína</b>	0.0019	Sí hay diferencia significativa.
<b>Grasa</b>	1.02*e-4	Sí hay diferencia significativa.
<b>Fibra cruda</b>	3.35*e-8	Sí hay diferencia significativa.
<b>Fibra dietética</b>	0.0458	Sí hay diferencia significativa.
<b>Carbohidratos</b>	0.0741	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Cenizas</b>	0.0114	Sí hay diferencia significativa.

Se utilizó valor-p (0.05) como criterio de rechazo de hipótesis nula, si el valor- p <0.05 se rechaza la hipótesis nula aceptando la hipótesis alternativa, por lo tanto, sí hay diferencia significativa entre las muestras.

### b. Tukey HSD

Cuadro 16 Análisis estadístico con prueba HDS Tukey para las harinas de cebada malteada caramelo - base.

	<b>Valor-p</b>	<b>Hipótesis nula (Ho)</b>	<b>Conclusión</b>
<b>Humedad</b>	0.0059	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Proteína</b>	0.0047	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Grasa</b>	1.0*e-7	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Fibra cruda</b>	1.0*e-7	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Fibra dietética</b>	0.0537	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Carbohidratos</b>	0.1939	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Cenizas</b>	0.0103	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Absorción de agua</b>	1.0*e-7	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>L</b>	0.0421	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>a</b>	0.9014	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>b</b>	0.8570	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Acidez titulable</b>	0.0193	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.

Se utilizó valor-p (0.05) como criterio de rechazo de hipótesis nula, si el valor- p <0.05 se rechaza la hipótesis nula aceptando la hipótesis alternativa, por lo tanto, sí hay diferencia significativa entre las muestras.

Cuadro 17 Análisis estadístico con prueba HDS Tukey para las harinas de cebada malteada roja – base.

	<b>Valor-p</b>	<b>Hipótesis nula (Ho)</b>	<b>Conclusión</b>
<b>Humedad</b>	0.0007	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Proteína</b>	0.0637	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Grasa</b>	0.0009	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Fibra cruda</b>	0.0074	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Fibra dietética</b>	0.9468	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Carbohidratos</b>	0.0681	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Cenizas</b>	0.0401	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Absorción de agua</b>	1.0*e-7	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.

	<b>Valor-p</b>	<b>Hipótesis nula (Ho)</b>	<b>Conclusión</b>
<b>L</b>	3.6*e-5	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>a</b>	0.0135	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>b</b>	0.4134	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Acidez titulable</b>	0.0073	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.

Se utilizó valor-p (0.05) como criterio de rechazo de hipótesis nula, si el valor- p <0.05 se rechaza la hipótesis nula aceptando la hipótesis alternativa, por lo tanto, sí hay diferencia significativa. Las medias no son iguales.

Cuadro 18 Análisis estadístico con prueba HDS Tukey para las harinas de cebada malteada roja – caramelo.

	<b>Valor-p</b>	<b>Hipótesis nula (Ho)</b>	<b>Conclusión</b>
<b>Humedad</b>	0.0049	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Proteína</b>	0.0018	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Grasa</b>	0.0006	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Fibra cruda</b>	1.0*e-7	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Fibra dietética</b>	0.0660	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Carbohidratos</b>	0.4561	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Cenizas</b>	0.1194	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Absorción de agua</b>	1.0*e-7	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>L</b>	1.2*e-05	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>a</b>	0.0085	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>b</b>	0.6989	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>
<b>Acidez titulable</b>	0.6518	<b>Aceptada</b>	<b>No hay diferencia significativa.</b>

Se utilizó valor-p (0.05) como criterio de rechazo de hipótesis nula, si el valor- p <0.05 se rechaza la hipótesis nula aceptando la hipótesis alternativa, por lo tanto, sí hay diferencia significativa entre las muestras.

## E. DESARROLLO DE UN PRODUCTO CON HARINA DE CEBADA MALTEADA

Cuadro 19 Porcentaje (%) de harina utilizado en formulación de brownie.

<b>Ingrediente</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Harina de cebada malteada	11.39

### 1. Aceptación sensorial de brownies con harina de cebada malteada.

Cuadro 20 Aceptación promedio de cada atributo evaluado en el panel sensorial.

<b>Atributo</b>	<b>General</b>	<b>Apariencia</b>	<b>Color</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>	<b>Promedio</b>
Harina de cebada malteada (463)	47	45	49	62	55	46	51
Harina de trigo (728)	53	55	51	38	45	54	49

Para el panel sensorial se utilizó una escala hedónica de 5 puntos.

Cuadro 21 Nivel promedio de aceptación de cada atributo.

<b>Atributo</b>	<b>General</b>	<b>Apariencia</b>	<b>Color</b>	<b>Olor</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>
Harina de cebada malteada (463)	3.31	3.11	3.96	4.14	3.37	2.69
Harina de trigo (728)	3.29	3.90	4.19	2.89	3.03	3.13

Se utilizó una escala hedónica de 5 puntos.

Cuadro 22 Análisis de varianza de un factor por medio de R Studio y diferencia de medias en la determinación de aceptación de las distintas variables.

<b>Variable</b>	<b>Valor P</b>	<b>Hipótesis nula</b>	<b>Conclusión</b>
<b>Aspecto general</b>	0.881	Aceptada	No hay diferencia significativa.
<b>Apariencia</b>	5.379e-5	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Color</b>	0.1651	Aceptada	No hay diferencia significativa.
<b>Olor</b>	8.753e-10	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
<b>Sabor</b>	0.096	Aceptada	No hay diferencia significativa.
<b>Textura</b>	0.054	Aceptada	No hay diferencia significativa.

## VIII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El bagazo de cerveza húmedo fue obtenido después del filtrado del mosto a una temperatura entre 60 °C y 65 °C en recipientes de plástico con tapadera tipo lecheros. La muestra fue transportada a la planta de alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala.

El proceso inicialmente propuesto para la elaboración de la harina de cebada malteada a partir de bagazo de cerveza fue: obtención del bagazo de cerveza, deshidratado y molienda. Proceso general de producción de una harina. Para el proceso de deshidratación del bagazo de cerveza se utilizó el secador de cardamomo diseñado en la UVG para el departamento de investigación y desarrollo en el cual se secaron 34 kg (en base seca). La temperatura del proceso estuvo entre 55 y 65 °C para un tiempo de secado de 12 horas, con un flujo de aire de 1.19 m/s a 35.7 °C.

El diseño del secador es un factor importante que influye en tiempos y costos. El tiempo de secado del bagazo de cerveza es aproximadamente de 7 horas en un deshidratador de alimentos para cocina, y al utilizar el deshidratador de cardamomo el tiempo aumentó significativamente casi al doble. En los primeros gabinetes se llegó en 6 horas a la humedad final de  $5.71\% \pm 0.004$ . Pero debido a que las muestras en los demás gabinetes aún no habían llegado a su humedad final se llevó aproximadamente 12 horas para que todas las muestras lleguen a la humedad óptima.

El bagazo de cerveza posee una peculiaridad al ser secado, pues forma diferentes tortas húmedas ubicadas a lo largo de la superficie del secador, impidiendo que la humedad del gabinete anterior sea desplazada hacia arriba y liberado al ambiente. Estas tortas se pueden formar debido a que el flujo de aire no es constante en todo el deshidratador y que generalmente la cascarilla proveniente del salvado del grano debido al peso se ubica en la parte superior y la parte proveniente del endospermo y el germen permanezcan en la superficie. Al momento de diseñar un secador para bagazo de cerveza se debe considerar la formación de tortas, la altura del deshidratador, el espacio entre gabinetes y que el flujo se distribuya de manera constante por todos los gabinetes.

Debido a que el proceso de deshidratado del bagazo de cerveza tarda aproximadamente 12 horas en llegar a una humedad final de  $5.71\% \pm 0.004$  se recomienda centrifugar el bagazo de cerveza antes de deshidratar para lograr eliminar la mayor cantidad de agua disponible antes del proceso de deshidratación y con ello disminuir el tiempo de secado.

El proceso de pasteurización se llevó a un rango de temperatura entre 85 °C a 95 °C por 25 min, la temperatura mínima utilizada es mayor a la temperatura de muerte de *salmonella* (75 °C) y la de *E. Coli* (70 °C). El recuento total de bacterias mesófilas se observa que está dentro del rango preferible. Las bacterias aerobias mesófilas crecen a temperatura ambiente por eso es importante una vez pasteurizado el bagazo de cerveza se debe dar choque térmico y refrigerar para almacenar, transportar o procesar.

Se evaluó por medio de análisis microbiológico el recuento total para bacterias Aerobias mesófilas, para mohos y levaduras, para coliformes totales, detección de patógenos como *Escherichia Coli* y *Salmonella* (ver Cuadro 1). Los datos obtenidos del análisis se compararon con

las especificaciones de la norma salvadoreña obligada NSO 67.03.01:01 “Harinas. Harina de trigo” la cual está basada en el Codex Stand 1521985. Ya que en el RTCA de criterios microbiológico y COGUANOR para harina de trigo solo piden como límite máximo permitido menor a 3 NMP/g.

En el análisis microbiológico de la materia prima sin ningún proceso térmico, se observa que los valores de los recuentos sobrepasan lo establecido en la norma salvadoreña, por lo tanto, se decidió pasteurizar la materia prima como un método para asegurar la inocuidad del producto.

Para evaluar si el proceso de pasteurización era suficiente o no para cumplir con el requisito de inocuidad de materia prima se establecieron rangos con base en la norma salvadoreña 67.03.01:01. Para la cual el rango óptimo era si la carga inicial era menor o igual al recuento total preferible, por lo tanto, no necesitaría un proceso térmico más severo. Si los valores se encontraban entre el rango preferible, tampoco se realizaría otro proceso térmico, pero se debe analizar la carga microbiana en el producto final para ver si era suficiente. Si los valores sobrepasan la carga máxima se debe realizar un proceso térmico más severo como lo sería una esterilización.

Al comparar los resultados del análisis microbiológico para las muestras de materia prima con tratamiento térmico y sin tratamiento térmico, en ambos casos hay ausencia de patógenos como *E. coli* y *Salmonella* lo cual cumple con la norma. El bagazo de cerveza por su naturaleza no tiene por qué estar contaminado con estos patógenos, ya que proviene del proceso de producción de cerveza en donde la cocción de la malta o maceración llega a temperaturas de ebullición. La única forma que la materia prima esté contaminada por patógenos puede ser por contaminación ambiental por mal transporte de la materia desde la cervecería hasta la planta de producción.

En cuanto al contenido de mohos, levaduras y coliformes totales se observa que ambos sobrepasan el rango preferible. Por lo tanto, se recomienda hacer un proceso de esterilización para disminuir la carga microbiana en la materia prima y con ello cumplir los parámetros para la harina de cebada malteada. El proceso de pasteurización no fue lo suficiente para garantizar la inocuidad de la materia prima pues la carga microbiana inicial del bagazo de cerveza es muy alta.

El porcentaje de humedad inicial del bagazo de cerveza fue de  $72.55\% \pm 0.183$ . La muestra fue centrifugada y deshidratada en un secador de gabinete a una temperatura de  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 12 horas. El porcentaje de humedad final del bagazo de cerveza fue de  $5.71\% \pm 0.004$ . Para la elaboración de la harina primero se redujo el tamaño de partícula por medio de un molino de rodillos, en donde se logró un tamaño de partícula de 40-60 mesh y se pasó por un ciclón en donde se logró disminuir a 60-80 mesh.

El bagazo de cerveza deshidratado está compuesto principalmente por fibra dietética con  $31.36\% \pm 6.30$ , es alta en carbohidratos con  $28.34\% \pm 0.13$ , proteína con  $18.27\% \pm 0.23$ , grasa con  $13.36\% \pm 0.005$ , humedad con  $5.71\% \pm 0.004$  y cenizas con  $3.62\% \pm 0.26$ . Según estudios realizados en Argentina por la CONICET en donde se evaluó el bagazo de cerveza se obtuvo una humedad de 84%. La humedad de la muestra puede variar según el proceso de filtración que se realice en cada una de las cervecerías.

La composición química del bagazo de cerveza varía según el malteado, debido a que en este proceso la temperatura, nivel de humedad del grano y el tiempo de horno provoca cambios en color, olor, sabor de la malta y cambios fisicoquímicos en la harina como por ejemplo el porcentaje de proteína, grasa, fibra cruda y fibra dietética.

Se evaluaron 3 harinas con malta diferente, la primera con malta base o clara, malta roja y con malta caramelo. Se determinó que la harina elaborada de la malta caramelo posee un porcentaje

de humedad  $6.88\% \pm 0.127$ , proteína  $20.20\% \pm 0.36$ , grasa  $6.27\% \pm 0.065$ , cenizas  $3.37\% \pm 0.003$ , fibra cruda  $0.57\% \pm 0.002$ , fibra dietética  $39.36\% \pm 1.021$  y carbohidratos  $23.61\% \pm 0.003$ . Siendo alto en fibra dietética, carbohidratos y proteína.

La harina proveniente de la malta roja posee un porcentaje de humedad del  $8.45\% \pm 0.027$ , proteína  $22.86\% \pm 0.067$ , Grasa  $7.44\% \pm 0.007$ , Ceniza  $3.49\% \pm 0.014$ , fibra cruda  $0.02\% \pm 0.0002$ , fibra dietética  $35.24\% \pm 0.183$  y carbohidratos de  $22.49\% \pm 0.096$ . La harina elaborada a partir de cebada malteada base presentó un porcentaje de humedad de  $5.41\% \pm 0.251$ , proteína  $22.04\% \pm 0.079$ , grasa  $8.45\% \pm 0.079$ , cenizas  $3.69\% \pm 0.073$ , fibra cruda  $0.01\% \pm 0.0001$ , fibra dietética  $34.89\% \pm 1.597$  y carbohidratos  $25.34\% \pm 0.130$ .

En promedio la harina de cebada malteada posee una humedad de  $6.91\% \pm 0.14$ , un porcentaje de proteína de  $21.70\% \pm 0.17$ , grasa  $7.95 \pm 0.05$ , cenizas  $3.52\% \pm 0.03$ , fibra cruda  $0.20\% \pm 1 \times 10^{-3}$ , fibra dietética  $36.50\% \pm 0.93$  y carbohidratos de  $23.05\% \pm 0.40$ . siendo una harina baja en carbohidratos, rica en proteína y fibra.

La ventaja de la harina de cebada malteada es que contiene un menor volumen y peso en comparación al bagazo de cerveza fresco, posee una actividad de agua entre el  $0.508 \pm 0.004$  y  $0.571 \pm 0.002$  siendo esta una humedad intermedia característica de las harinas de cereales por lo tanto las bacterias patógenas no crecen a este intervalo de actividad de agua, además posee una acidez titulable entre  $0.31\% \pm 0.02$  y  $0.05\% \pm 0.01$  lo cual es un porcentaje bastante bajo correspondiente a una harina recién molida. La acidez varía según el nivel de tueste de la malta, ya que maltas más oscuras presentan acidez titulable más altas. La acidez en las harinas es debido a la presencia de ácidos grasos provenientes de la grasa. Un valor de acidez puede modificar la calidad del gluten disminuyendo su elasticidad y su grado de hidratación. La acidez en las harinas va aumentando según el tiempo de almacenamiento, provocando hidrólisis de proteína y pérdida de proteínas.

En comparación con el grano de cebada se puede observar cambios fisicoquímicos en el porcentaje de carbohidratos, proteínas y grasa. El porcentaje de carbohidratos del grano de cebada es de  $71.8\%$  una vez malteado, el grano el contenido de carbohidratos disminuye hasta un  $25.50\%$  debido al proceso de hidrólisis durante el malteado de la cerveza. El contenido de proteína aumenta de  $10.6\%$  en el grano de cebada hasta un  $22.04\%$  en el bagazo de cerveza, grasa aumenta de  $2.1\%$  del grano hasta un  $8.45\%$  en el bagazo de cerveza.

Se realizó un análisis estadístico en donde se comparó las propiedades químicas de cada una de las harinas realizadas con las diferentes maltas base, roja y caramelo en donde se observa que, si existe diferencia significativa en la mayoría de los atributos químicos de las harinas a excepción de carbohidratos, como se puede observar en la comparación entre la harina de cebada malteada caramelo con respecto a la harina de cebada base, difiere en la mayoría de los atributos a excepción de carbohidratos. La harina de cebada malteada roja con respecto a la harina de cebada base difiere en la mayoría de los atributos a excepción de fibra dietética, proteína y carbohidratos. La harina de cebada malteada caramelo con respecto a la harina de cebada roja difiere en la mayoría de los atributos a excepción de carbohidratos y cenizas.

El porcentaje de carbohidratos en la harina fue el único atributo químico que no varió en las 3 harinas comparadas, esto se debe a que el contenido de almidón del grano de cebada es controlado para el proceso de producción de cerveza.

Hay evidencia significativa para concluir que el malteado y el proceso de producción de la cerveza afecta significativamente el contenido de proteínas de las harinas. La harina de cebada

malteada caramelo es la que menor cantidad de proteína posee con 20 g de las 3 harinas evaluadas, pero aun así su contenido es mucho mayor que una harina de cebada normal proveniente del grano sin maltear, ya que esta presenta un porcentaje de proteína de 10.6% y que la harina de trigo, ya que esta presenta 11.7% (ver datos en Cuadro 2 de marco teórico).

Según la escala de color CIE Lab, el bagazo de cerveza caramelo posee un valor de  $L^*$   $53.63 \pm 0.09$ , un valor de  $a^*$   $5.54 \pm 0.12$  y un valor de  $b^*$  de  $22.18 \pm 0.43$ . La muestra se encuentra en una luminosidad media entre el color blanco y negro; pose colores amarillos y colores rojos, característicos de una malta caramelo. SMR entre 10 y 15.

El bagazo de cerveza de malta caramelo en comparación con la harina de cebada malteada caramelo presentó un aumento en la luminosidad  $L^*$  con  $60.99 \pm 0.37$  siendo un poco más blanca, que el bagazo original, presenta colores rojos  $a^*$   $6.64 \pm 0.43$  y colores amarillos  $b^*$   $25.25 \pm 0.82$ .

Las harinas elaboradas con diferentes maltas presentan variaciones significativas en cuanto a la luminosidad, todas presentan colores amarillos y rojos. La luminosidad cambia según las denominaciones, ya que las denominaciones más negras o tostadas tienen valores cercanos a cero mientras que las denominaciones rubias o amarillas tienden a tener valores de  $L^*$  más altos y  $b^*$  positivos altos. Las cebadas denominadas ámbar o rojas presentan valores más altos para  $a$  y menores para  $b^*$ .

Se realizó una evaluación sensorial de aceptación del uso de harina en brownies utilizando una escala hedónica de 5 puntos, en donde se evaluó el aspecto general, la apariencia, el color, olor y sabor para dos muestras, una elaborada a partir de cebada malteada (muestra no. 463) y una elaborada a partir de harina de trigo (muestra no.728). Los ingredientes utilizados para su elaboración fueron chocolate semi amargo, cacao en polvo, huevos, aceite de origen vegetal, polvo de hornear, dextrosa y maltodextrina como endulzante, vainilla en polvo y la harina en un 11.39%. Fueron horneadas a 350 °C por aproximadamente 35 min. Para la elaboración de las muestras se utilizó la misma formulación, variando únicamente la harina utilizada. De la cual se obtuvo una aceptación promedio del 51% para la muestra elaborada con harina de cebada malteada y un 49% para la muestra elaborada con harina de trigo. Siendo su calificación total en cuanto a escala hedónica: me gusta un poco.

El porcentaje de aceptación para la muestra de cebada malteada fue de 47% como aspecto general, 45% para la apariencia, 49% para el color, 62% para el olor, 55% para el sabor, 46% para la textura, siendo una aceptación total del 51%, mientras que la muestra elaborada con harina de trigo tuvo una aceptación total de 49%. En cuanto al aspecto general obtuvo el 53% de la aceptación, 55% para la apariencia, 51% para el color, 38% para el olor, 45% para el sabor, 54% para la textura. Siendo la muestra elaborada a partir de cebada de trigo mayormente aceptada en color y apariencia, mientras que la muestra de harina de cebada fue aceptada en cuanto a olor y sabor.

En cuanto a la apariencia se puede observar que los panelistas prefirieron la muestra de harina de trigo, esto se debe a que los consumidores están más familiarizados a como se ve un brownie trigo y lo asocian con una apariencia compacta y firme, mientras que el brownie elaborado con harina de cebada malteada tiende a ser un poco más suelto y generar mucha más miga. Siendo este una diferencia significativa entre las dos muestras.

Se observa que la muestra elaborada a partir de cebada malteada posee mayor aceptación en el olor, pues fue percibida con un olor mucho más dulce que la muestra de harina de trigo. Esto ayudó a que las personas lo percibieran como “dulce, pero no empalagoso”. El olor dulce es característico de la harina de cebada malteada. Siendo el olor una diferencia significativa en la

muestra a pesar de que se utilizó el mismo porcentaje de dextrosa y maltodextrina en las dos formulaciones.

La textura del brownie elaborado a partir de cebada malteada no fue aceptada por la mayoría de las panelistas, pues tuvo un porcentaje de aceptación del 54%, además dentro de los comentarios mencionan que les gustaría que fuera mucho más “crujiente” por fuera, no les agrada la idea que al morderlo se deshaga en la boca, la textura está quebradiza, se aguada muy rápido en la boca, pero si les gusto el sabor “me encantó la muestra y el sabor está muy rico. Solo mejoraría un poco la textura que está poco quebradiza”, “Me gusta que sea dulce, pero no empalaga”, “La textura podría mejorar, pero superrico”

## IX. CONCLUSIONES

- 1) El proceso técnico para la elaboración de la harina de cebada malteada establecido es: obtención de la materia prima, pasteurización de la materia prima a 85 °C a 95 °C por 25 min; centrifugación por 5 min, deshidratado a 55 °C a 65 °C por 12 horas, 1.19 m/s a 35.7 °C y molienda.
- 2) El bagazo de cerveza deshidratado está compuesto principalmente por fibra dietética con  $31.36\% \pm 6.30$ , es alta en carbohidratos con  $28.34\% \pm 0.13$ , proteína con  $18.27\% \pm 0.23$ , grasa con  $13.36\% \pm 0.005$ , humedad con  $5.71\% \pm 0.004$  y cenizas con  $3.62\% \pm 0.26$ .
- 3) Se comparó las harinas elaboradas con malta Roja, Base y Caramelo en donde se determinó que el único atributo químico que no varió en las 3 harinas comparadas, el porcentaje de carbohidratos esto se debe a que el contenido de almidón del grano de cebada es controlado para el proceso de producción de cerveza.
- 4) Se obtuvo que las harinas elaboradas a partir de cebada malteada son bajas en carbohidratos con  $23.05\% \pm 0.40$ , poseen alto nivel de proteína  $21.70\% \pm 0.17$  y fibra dietética  $36.50 \pm 0.93$  en comparación con la harina de trigo que  $11.7\%$  proteína,  $2\%$  fibra,  $69.3\%$  de carbohidratos. La cebada  $11.7\%$  de proteína,  $1.6\%$  de fibra y  $71.8\%$  de carbohidratos.
- 5) El malteado y el proceso de producción de la cerveza afecta significativamente el contenido de proteínas de la harina de cebada malteada, especialmente para las elaboradas a partir de malta caramelo las cuales presentan menor contenido de proteína. Pero aun así el contenido de proteína de las harinas de cebada malteada es mayor que la harina de cebada (sin maltear) y harina de trigo.
- 6) Se evaluó el color en las harinas elaboradas con las diferentes maltas: roja, base y caramelo, las cuales presentan variaciones significativas en cuanto a la luminosidad, todas presentan colores amarillos y rojos característicos según su nivel de tueste.
- 7) Se comparó la aceptación de la harina de cebada malteada con respecto a la harina de trigo, siendo los parámetros más críticos el olor y la apariencia en donde sí se encontró diferencia significativa. Para los atributos de textura, sabor, color y apariencia, no se encontró diferencia significativa.
- 8) Se obtuvo una aceptación del 51% para la muestra de brownie elaborada a partir de cebada malteada y un 49% para la elaboradas con harina de trigo lo que significa que la harina de brownie es igual de aceptada que la de trigo. Siendo el atributo más aceptado el olor y el menos aceptado la apariencia para la harina de cebada malteada.

## **X. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar un proceso de esterilización de la materia prima y evaluar microbiológicamente con el fin de garantizar la inocuidad.
- Se recomienda tomar en cuenta el espacio entre gavetas, la altura del gabinete, y que el flujo de aire sea constante durante todo el gabinete a la hora de selección el equipo óptimo para deshidratar. Ya que el diseño del deshidratador influye en el tiempo de secado y por ende influye en los costos.
- Se recomienda desarrollar otros productos con harina de cebada malteada para evaluar sus propiedades en productos de panificación, productos fermentados, productos tipo galletas crackers. Especialmente en productos tipo pan integral debido a su alto contenido de fibra.
- La harina posee bajo contenido de carbohidratos, es alto contenido en fibra y proteína por lo tanto se recomienda ser considerada para elaborar productos más especializados como niños con desnutrición y ser evaluada para consumo de personas con problemas crónicos como diabetes.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- AINIA, I., & Cerveceros de España. (2000). *Mejoras técnicas Disponibles en el sector Cerveceros*. España. Obtenido de <http://www.prtr-es.es/data/images/la%20industria%20cervecera-74f8271308c1b002.pdf>
- Badui Dergal, S. (2019). *Química de los alimentos* (Vol. 6ta). México: Pearson Educación.
- Bin, H. (17 de 07 de 2020). *concritorio.gt*. Obtenido de <http://concritorio.gt/no-hay-cuarentena-sin-bebidas-alcoholicas-el-consumo-en-casa-crecio-8/>
- Bucci, P., Santos, D., Orguela, D., & Zaritzky, D. (2020). *Primer Informe sobre características del Bagazo de la industria cervecera*. Universidad Nacional de la Plata, Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos. La Plata Argentina: CONICET LA PLATA. Obtenido de [http://www.conal.gob.ar/Notas/Ingresadas/2020/200423\\_Respuesta\\_Cervecera\\_07.pdf](http://www.conal.gob.ar/Notas/Ingresadas/2020/200423_Respuesta_Cervecera_07.pdf)
- Cale Siguencia, E. L. (2016). *"Calidad microbiologica de alimentos elaborados a base de maíz y harina de trigo en la fabrica delicias mexicanas "Delmex" de la ciudad de cuenca*. Cuenca Ecuador: Universidad de Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26202/1/Tesis.pdf>
- Cerdá, E., & Khalilova, A. (2018). *Economía Circular*. 11-20. Madrid: Universidad Computense de Madrid. Obtenido de <http://ceppcuador.org/guardianes/talleres/3-3EconomiaCircular/Bibliografia/CERDA-y-KHALILOVA.pdf>
- Cerveceros de México, camara de la cerveza y de la malta. (15 de 10 de 2018). <https://cervecerosdemexico.com>. Obtenido de <https://cervecerosdemexico.com/2018/10/15/que-es-exactamente-la-cerveza-artesanal/>
- Chaves Ávila, R., & Monzón Campos, J. L. (2018). La economía social ante los paradigmas económicos emergentes: innovación social, economía colaborativa, economía circular, responsabilidad social empresarial, economía del bien común, empresa social y economía solidaria. *CIRIEC - España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa*(93), 5-50. doi:<https://doi.org/10.7203/CIRIEC-E.93.12901>
- Chopin Technologies. (20 de 11 de 2018). *studylib.es*. Obtenido de <https://studylib.es/doc/4983666/medici%C3%B3n-autom%C3%A1tica-de-la-capacidad-de-retenci%C3%B3n-de-solve...>
- Comisión del Codex Alimentarius. (2020). *Revisión de la clasificación de alimentos y piensos: categoría D: Alimentos Elaborados de Origen Vegetal*. Roma, Italia: Fao. Obtenido de [http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-718-52%252FWDs%252Fpr52\\_07s.pdf](http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FMeetings%252FCX-718-52%252FWDs%252Fpr52_07s.pdf)
- Emgrisa. (14 de 07 de 2016). *www.emgrisa.es*. Obtenido de <https://www.emgrisa.es/publicaciones/subproducto-o-residuo/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20la%20Ley%2022%2F2011%2C%20de%2028%20de%20julio%2C,de%20esa%20sustancia%20u%20objeto>
- Espinoza Escobar, F. F. (2011). *Caracterización de subproductos derivados de la fabricación de la cerveza destinados para alimentación animal*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Medicina Veterinaria y zootecnia. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/35293268.pdf>

- Factoria de Cerveza. (12 de 05 de 2020). *Factoriacerveza.com*. Obtenido de <https://factoriadecerveza.com/informe-aecai-el-sector-preve-perdidas-en-2020-del-48-por-la-crisis-sanitaria/#:~:text=La%20Asociaci%C3%B3n%20Espa%C3%B1ola%20de%20Cerveceros,de%20un%2048%20%25%2C%20con%20un>
- FEDNA. (4 de 04 de 2019). *www.fundacionfedna.org*. Obtenido de [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/raicillas-de-malta-19-pb](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/raicillas-de-malta-19-pb)
- Fernandes, P. (17 de 05 de 2018). *https://apcergroup.com/*. Obtenido de <https://apcergroup.com/es/newsroom/218/sostenibilidad-y-economia-circular>
- Firma Paz, S. P. (02 de 10 de 2018). *Conicet.gov.ar*. Obtenido de <https://www.conicet.gov.ar/utilizan-residuo-de-la-industria-cervecera-para-la-fabricacion-de-ladrillos/#:~:text=Investigadores%20del%20CONICET%20usan%20bagazo,de%20arroz%20no%20es%20estacional.&text=Aproximadamente%20el%2020%25%20del%20bagozo,lot%20%E2%80>
- Forbes Staff. (06 de 08 de 2019). *Forbescentroamerica.com*. Obtenido de <https://forbescentroamerica.com/2019/08/06/estas-cinco-cerveceras-conquistan-a-los-centroamericanos/#:~:text=En%20t%C3%A9rminos%20de%20cifras%2C%20la,Cuba%2C%20Panam%C3%A1%20y%20Puerto%20Rico>
- González G., M. R. (2017). *Principios de Elaboracion de Cervzas Artesanales*. (Lulu Enterprises, Ed.) Obtenido de [https://books.google.es/books?hl=es&lr&id=0COaDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=SRM+y+EBC+cerveza&ots=ZvwEq90eer&sig=Y\\_DpjCdvk4LsxZrCALbGjMp1zwQ&pli=1#v=onepage&q=SRM%20y%20EBC%20cerveza&f=true](https://books.google.es/books?hl=es&lr&id=0COaDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=SRM+y+EBC+cerveza&ots=ZvwEq90eer&sig=Y_DpjCdvk4LsxZrCALbGjMp1zwQ&pli=1#v=onepage&q=SRM%20y%20EBC%20cerveza&f=true)
- Hernández Espinosa, N., Reyes Reyes, M., González Jimenez, F., Nuñez Bretón, L. C., & Cooper Bretón, L. C. (2015). Importancia de las proteínas de almacenamiento en cereales (prolaminas). *VERTIENTES Revista Especializada en Ciencias y Salud*, 3-7. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/vertientes/vre-2015/vre151a.pdf>
- Infoautónomos. (24 de 03 de 2021). Obtenido de <https://www.infoautonomos.com/estudio-de-mercado/breve-guia-para-estudio-de-mercado/>
- Jamamillo Valdez, V. M. (2019). *Elaboracion de harina de cebada (hordeum vulgare) para utilizaicon de poolish en pan común*. Riobamba, Ecuador: Escuela superior politécnica de chimborazo. Obtenido de <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/11844/1/>
- Lawless, H. T. (2003). *Sensory Evaluation of Food*. California: Springer Science. doi:10.1007/978-1-4419-6488-5
- Lezcano, E. (2 de 4 de 2014). *Ministerio de agricultura, ganaderia y pesca de Argentina*. Obtenido de <http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Publicaciones/revistas/nota.php?id=56#:~:text=el%20t%C3%A9rmino%20harina%20designa%20al,de%20cereales%20y%20otros%20vegetales%20.&text=Este%20informe%20abarca%20la%20producci%C3%B3n,el%20C%C3%B3digo%20AI>
- Li, B. (2011). *Improvements of Just -About - Right (JAR) Scales as product optimization tools using kano modeling concepts*. Arkansas, Fayetteville: University of Arkansas, Fayetteville. Obtenido de <https://scholarworks.uark.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1154&context=etd>
- MAGA, & Cámara del Agro Guatemala. (16 de 04 de 2021). Obtenido de [https://issuu.com/camagro/docs/comportamiento\\_de\\_precios\\_productos\\_b2173cd2f6ac86](https://issuu.com/camagro/docs/comportamiento_de_precios_productos_b2173cd2f6ac86)
- Marcet García, E., MArcet Sánchez, M., MErell Gago, M., Ramos, R. Y., & Beatón Bereguer, M. (Abril de 2014). Produccion sostenible de bebidas nutritivas. *Revista Avanzada Científica*, 17(1), 1- 12.

- Matos Chamorro, A., & Vásquez Castillo, G. (2009). Evaluacion de algunas características fisicoquímicas de harina de trigo peruano en función de su calidad panadera. *Revista de investigacion universitaria*, 1(1), 18-24.
- Medina Condo, E. B., & Uscca Thaquima, Y. K. (2008). *Elaboracion de cupcakes a partir de harina de mashua (Tropaeolum tuberosum), utilizando como agentes fermentadores leudantes quimicos*. Venezuela: Saber, Universidad de Oriente. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4277/427739434008.pdf>
- México, S. d. (2008). Obtenido de [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle\\_popup.php?codigo=5100356](http://dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5100356)
- Micolucci, V. I. (13 de 11 de 2019). *foodnewslatan.com*. Obtenido de <https://www.foodnewslatan.com/paises/4967-centro-am%C3%A9rica/9583-producci%C3%B3n-mundial-de-cebada-2019-2020.html#:~:text=En%20el%20C3%BAltimo%20mes%20de,la%20proyecci%C3%B3n%20del%20mes%20pasado>.
- mundi, i. (13 de agosto de 2021). *indexmundi.com*. Obtenido de <https://www.indexmundi.com/agriculture/?pais=gt&producto=trigo&variable=importaciones&l=es>
- Mussatto, S. I. (19 de 11 de 2013). Bagazo de cerveza: una valiosa materia prima para aplicaciones industriales. *Revista de ciencia de la alimentacion y la agricultura*, 94(7), 1264-1275. Obtenido de [https://login.research4life.org/tacsgr1doi\\_org/10.1002/jsfa.6486](https://login.research4life.org/tacsgr1doi_org/10.1002/jsfa.6486)
- Nielsen, S. S. (2010). *Food Analysis*. New York: © Springer Science+Business Media. doi:DOI 10.1007/978-1-4419-1478-1
- Ormazabal, M., Jaca, C., & Prieto Sandoval, V. (08 de 2017). Economía Circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. *Memorias Investigaciones en Ingeniería*(15), 85-95.
- Ortega Heras, M., Gómez, I., de Pablos Alcalde, S., & González San José, M. L. (17 de 09 de 2019). Application of the Just-About-Right Scales in the Development of New Healthy Whole-Wheat Muffins by the Addition of a Product Obtained from White and Red Grape Pomace. 8(419), 15. doi:doi:10.3390/foods8090419
- Peña Rodríguez, G., Hans Rodríguez, M., Becerra, E., Caballero, X., & Dulce Moreno, J. (15 de 08 de 2019). Utilización de tierras diatomáceas recicladas de la industria cervecera como medio de transporte de macronutrientes. *Revista UIS Ingenierías*, 18(4), 129-146. Obtenido de [revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias](http://revistas.uis.edu.co/index.php/revistausingenierias)
- Picón Sánchez, M. (2020). *Análisis fisicoquímicos para el control de la calidad en la producción de cerveza*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Sevilla: Universidad de Sevilla. Obtenido de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/99697/TFG-2817-PICON%20SANCHEZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ramos Gil, C., & Jiménez Piqué, E. (2018). *Diseño y construcción de una planta piloto cervecera*. Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya BarcelonaTech.
- Román Gutiérrez, A., & Castillo Ramírez, C. (2003). *Evaluación de la calidad de harinas de diferentes variedades de cebada (Hordem sativum Jess) cultivadas en los estados de Hidalgo y Tlaxcala*. Pachuca, Hidalgo, México: Centro de Investigaciones Químicas. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.
- Staff, F. (30 de 03 de 2021). Obtenido de <https://forbescentroamerica.com/2021/03/30/importacion-de-maiz-en-centroamerica-incremento-10-en-2019-y-2020/>
- Suárez Moreno, D. X. (2003). *Guía de procesos para la elaboración de harinas, almidones, hojuelas deshidratadas y compotas*. San Andrés, Chile: UPAR. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr&id=8HGwgpTRiP4C&oi=fnd&pg=PA7&dq=molinos+para+harinas&ots=0OMCvIiHV2&sig=LqmXui9F0W3Z1R2SJ70fKkgA0Vo&pli=1#v=onepage&q=molinos%20para%20harinas&f=true>
- Torrente, S. E. (2019). *Aprovechamiento de los subproductos generados en la industria cervecera*. Madrid, España: Universidad Complutense.

Villegas Ramos, C. A., & Zambrano Manobanda, G. A. (2018). *Optimizacion de harina para panqueques libres de gluten*. Tegucigalpa, Honduras.: Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6305/1/AGI-2018-T064.pdf>

## XII. ANEXOS

### A. Fotografías y figuras del proceso de trabajo.

Figura 24 Tanques de almacenamiento del bagazo húmedo de cerveza posterior al filtrado del mosto. Proceso según la cervecería.



Figura 25 Recipientes de plástico tipo lechero para movilizar la muestra de bagazo de cerveza congelado. La fotografía fue tomada en el cuarto congelado de la planta de alimentos del CIT de la Universidad del Valle de Guatemala.



Figura 26 Pasteurización en ollas del bagazo de cerveza, 85°C - 95°C por 25 min.



Figura 27 Deshidratación del bagazo de cerveza en el deshidratador de gabinete en la UVG.



Figura 28 Molino y ciclón marca FOSS clyclotec TM 1093, ubicado en el laboratorio de química de alimentos de la UVG.



Figura 29 Batería de confirmación de *Escherichia Coli* para confirmar la ausencia en muestras de bagazo.

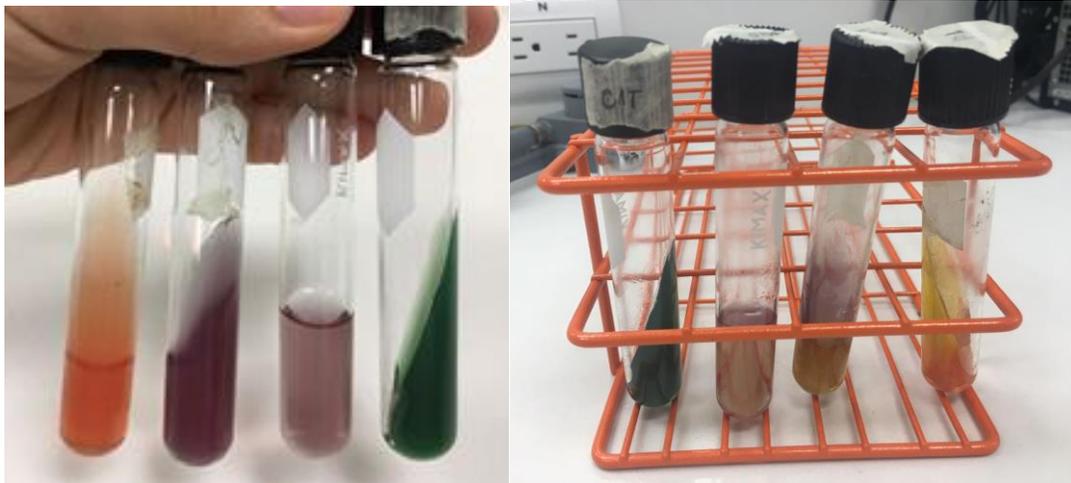


Figura 30 Siembra de *Salmonella* control en agar XLD y Hektoen para confirmar ausencia en muestra de bagazo de cerveza.

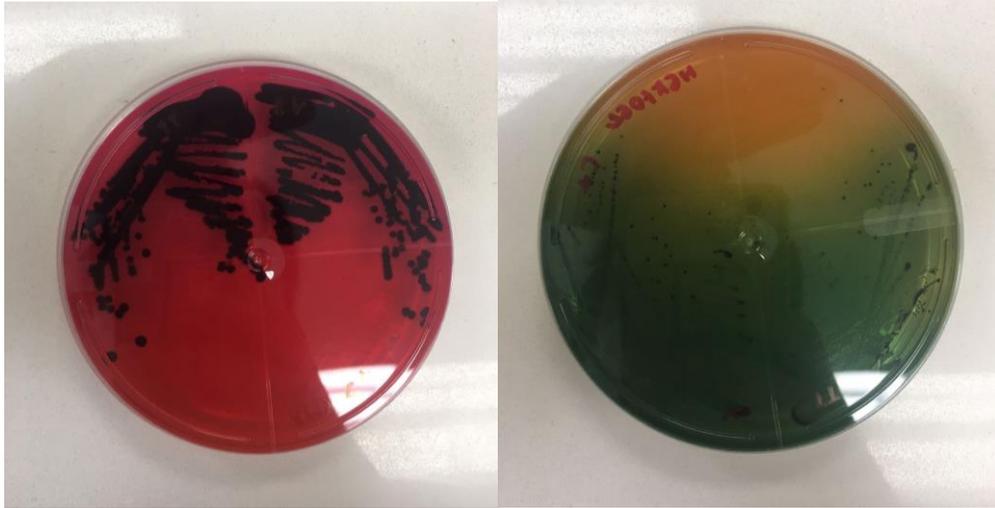


Figura 31 Incubación de *Salmonella* en caldo lactosado para confirmación de ausencia en muestras de bagazo de cerveza.



Figura 32 Resultados para ausencia de *Salmonella* en agar XLD y Hectoen. En ella se observa la comparación de la muestra control de *Salmonella* con respecto a las muestras sembradas.



Figura 33 Muestras sospechosas de *Salmonella* positivo. Las cuales fueron descartadas según los resultados de las baterías.

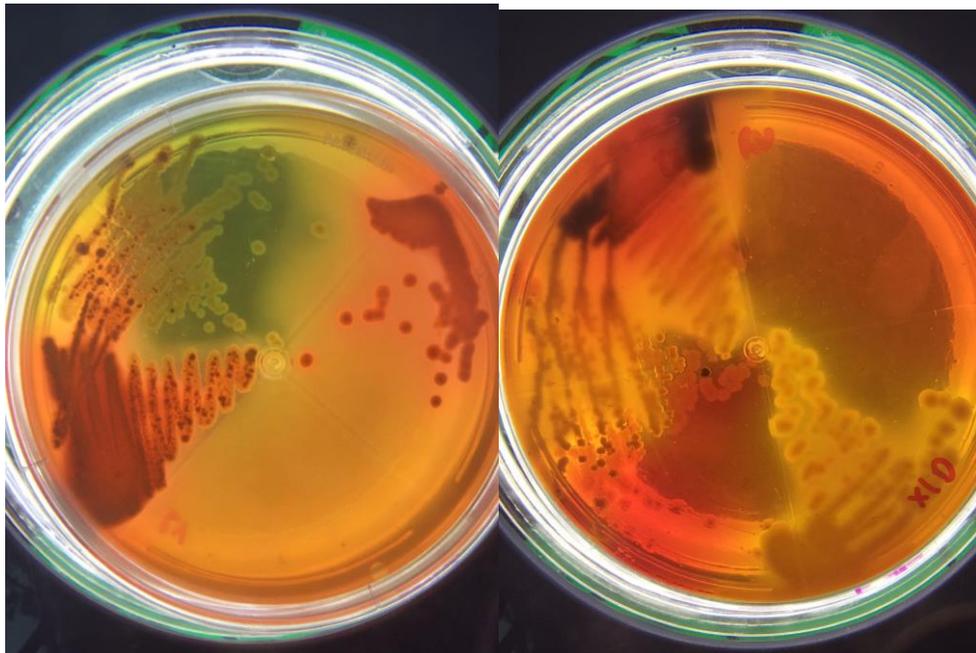


Figura 34 Baterías para comprobar *Salmonella* en muestras sospechosas.

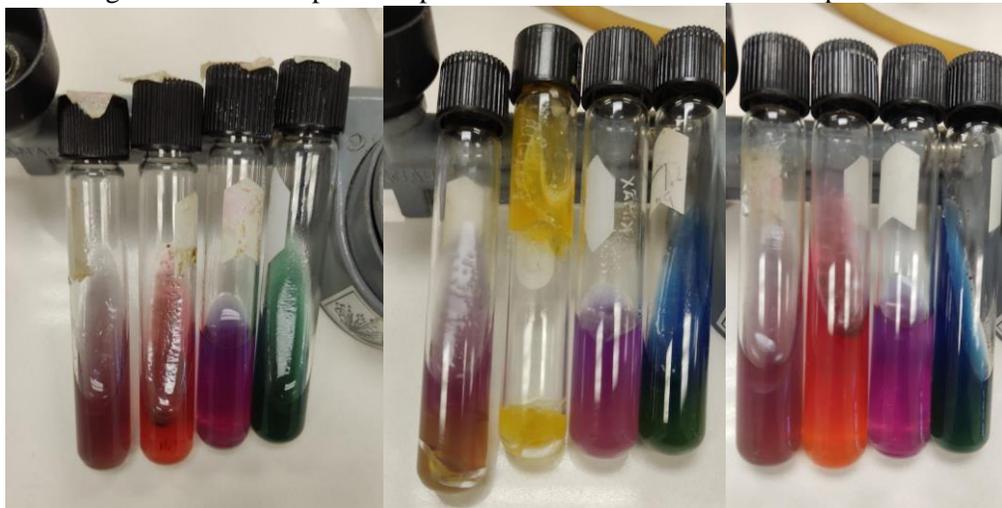


Figura 35 Comparación de *Salmonella* positivo para las baterías sospechosas con antisuero, las muestras no contenían *Salmonella*.

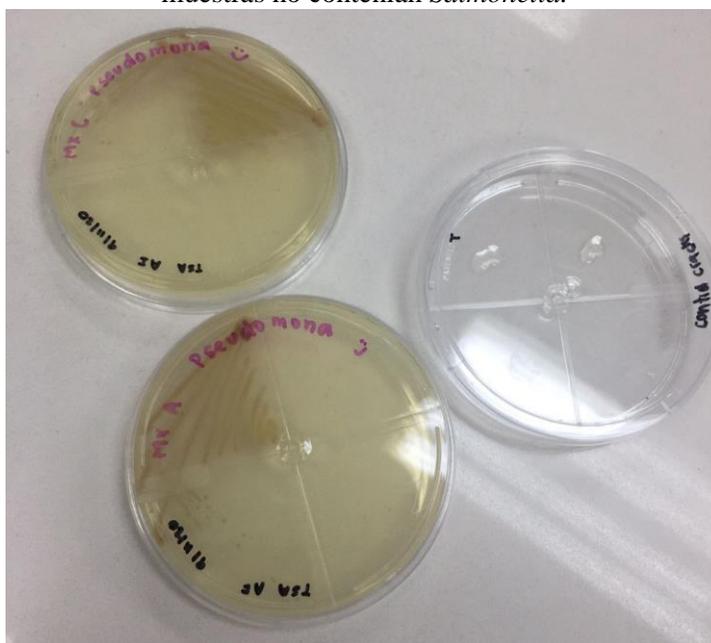


Figura 36 Harinas obtenidas del bagazo de cerveza de las diferentes cebadas malteadas evaluadas.



Figura 37 Análisis de granulometría para las muestras de harinas.



## B. Datos microbiológicos del bagazo de cerveza.

Cuadro 23 Recuento total de aerobios mesófilos para las muestras de materia prima sin proceso térmico.

Dilución	Recuento	Promedio	Conclusión
2.1	incontable	MNC	No cumple
2.2	incontable		
3.1	incontable	MNC	No cumple
3.1	incontable		

El rango preferible para recuento total de aerobios mesófilos es 100-50000 UFC/g, para mohos y levaduras 100 – 200 UFC/g, para coliformes 10 -100 UFC/g, Ausencia/g para patógenos.

Cuadro 24 Recuento de coliformes totales para las muestras de materia prima sin proceso térmico para recuento de coliformes totales.

Dilución	Recuento	Promedio	Conclusión
1	MNC	MNC	No cumple
2	118	11800	No cumple

El rango preferible para recuento total de aerobios mesófilos es 100-50000 UFC/g, para mohos y levaduras 100 – 200 UFC/g, para coliformes 10 -100 UFC/g, Ausencia/g para patógenos.

Cuadro 25 Recuento total de mohos y levaduras para las muestras de materia prima sin proceso térmico.

Dilución	Recuento	Promedio	UFC/g	Conclusión
1.1	250	303	3033	no cumple
1.2	324			
1.3	336			
2.1	17	33	3333	no cumple
2.2	34			
2.3	49			
3.1	6	8	8000	no cumple
3.2	8			
3.3	10			

El rango preferible para recuento total de aerobios mesófilos es 100-50000 UFC/g, para mohos y levaduras 100 – 200 UFC/g, para coliformes 10 -100 UFC/g, Ausencia/g para patógenos.

Cuadro 26 Recuento total de aerobios mesófilos para las muestras de materia prima con proceso térmico.

Dilución	Recuento	Promedio	UFC/g	Conclusión
2.1	29	36.5	3650	Sí cumple
2.2	44			
3.1	4	3	3000	Sí cumple
3.1	2			

El rango preferible para recuento total de aerobios mesófilos es 100-50000 UFC/g, para mohos y levaduras 100 – 200 UFC/g, para coliformes 10 -100 UFC/g, Ausencia/g para patógenos.

Cuadro 27 Recuento de coliformes totales para las muestras de materia prima con proceso térmico.

Dilución	Recuento	Promedio	Conclusión
1	44	440	No cumple
2	7	700	No cumple

El rango preferible para recuento total de aerobios mesófilos es 100-50000 UFC/g, para mohos y levaduras 100 – 200 UFC/g, para coliformes 10 -100 UFC/g, Ausencia/g para patógenos.

Cuadro 28 Recuento total de mohos y levaduras para las muestras de materia prima con proceso térmico.

Dilución	Recuento	Promedio	UFC/g	Conclusión
2.1	7	5	467	no cumple
2.2	5			
2.3	2			
3.1	0	0	333	no cumple
3.2	1			
3.3	0			

El rango preferible para recuento total de aerobios mesófilos es 100-50000 UFC/g, para mohos y levaduras 100 – 200 UFC/g, para coliformes 10 -100 UFC/g, Ausencia/g para patógenos.

### C. Datos del proceso de deshidratación del bagazo húmedo de cerveza

Cuadro 29 Pesos obtenidos del deshidratado de bagazo de cerveza en secador de cardamomo.

Tiempo (h)	Gabinetes							Promedio
	1	2	3	4	5	6	7	
0	123	124	122	126	120	122	123	123
1	120	123	123	127	121	118	118	121
2	81	123	123	131	121	116	110	115
3	36	120	121	130	123	110	89	104
4	33	53	111	130	120	106	72	89
5	32	37	70	123	119	103	52	77
6	32	36	36	106	114	101	42	67
7	32	36	35	85	85	95	36	58
8	32	36	35	56	57	75	36	47
9	33	36	35	56	57	75	36	47
10	33	36	35	38	44	49	35	39
11	33	36	35	32	32	35	34	34
12	33	36	35	32	32	35	34	34

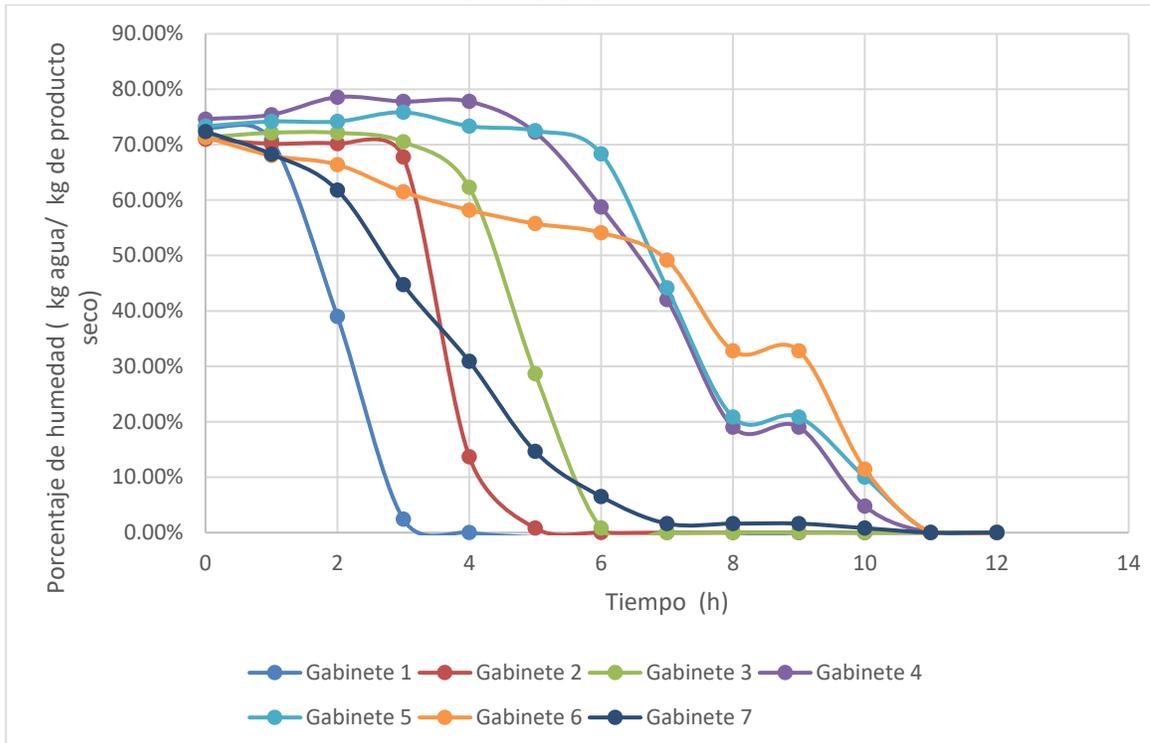
Para medir la humedad de la muestra a lo largo del tiempo de secado se utilizaron bolsas de muestreo para granos en donde agrego una muestra de 120g en promedio. El peso de las muestras corresponde al primer peso de los gabinetes en tiempo 0 h. Cada bolsa fue pesada cada hora, para determinar la humedad.

Cuadro 30 Porcentaje de humedad con respecto al tiempo de deshidratado.

Tiempo (h)	Gabinetes							Humedad BH (%)
	1	2	3	4	5	6	7	
0	73.17%	70.97%	71.31%	74.60%	73.33%	71.31%	72.36%	72.44%
1	70.73%	70.16%	72.13%	75.40%	74.17%	68.03%	68.29%	71.28%
2	39.02%	70.16%	72.13%	78.57%	74.17%	66.39%	61.79%	66.05%
3	2.44%	67.74%	70.49%	77.78%	75.83%	61.48%	44.72%	57.21%
4	0.00%	13.71%	62.30%	77.78%	73.33%	58.20%	30.89%	45.12%
5	0.81%	0.81%	28.69%	72.22%	72.50%	55.74%	14.63%	34.77%
6	0.81%	0.00%	0.82%	58.73%	68.33%	54.10%	6.50%	26.74%
7	0.81%	0.00%	0.00%	42.06%	44.17%	49.18%	1.63%	19.42%
8	0.81%	0.00%	0.00%	19.05%	20.83%	32.79%	1.63%	10.47%
9	0.00%	0.00%	0.00%	19.05%	20.83%	32.79%	1.63%	10.58%
10	0.00%	0.00%	0.00%	4.76%	10.00%	11.48%	0.81%	3.84%
11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Donde BH es significa Base húmeda, siendo el porcentaje promedio de humedad final de 3.84% en base húmeda (kg agua/ kg de producto).

Figura 38 Gráfica de porcentaje de humedad con respecto al tiempo para cada uno de los gabinetes del secador de cardamomo, secados a una temperatura entre 55°C y 65°C con un flujo de aire de 1.19m/s a 35.7°C.



Los gabinetes son enumerados desde abajo hacia arriba, cada gabinete tiene grabado en la parte de enfrente su número. Siendo el número uno el gabinete ubicado hasta abajo y el no. 12 el ubicado en la parte más alta del deshidratador.

Cuadro 31 Porcentaje de humedad en base seca y húmeda para el bagazo de cerveza deshidratado en el secador de cardamomo UVG con respecto al tiempo en horas.

Tiempo (h)	Producto húmedo (kg)	Producto seco (kg)	Contenido de agua (kg)	Humedad BH (kg agua/Hg producto)	Producto seco (kg)	Humedad BS (kg agua/kg de producto seco)
0	123	34	88.86	0.72	0.28	2.61
1	121	34	87.43	0.72	0.28	2.57
2	115	34	81.00	0.70	0.30	2.38
3	104	34	70.14	0.67	0.33	2.06
4	89	34	55.29	0.62	0.38	1.63
5	77	34	42.57	0.56	0.44	1.25
6	67	34	32.71	0.49	0.51	0.96
7	58	34	23.71	0.41	0.59	0.70
8	47	34	12.71	0.27	0.73	0.37
9	47	34	12.86	0.27	0.73	0.38
10	39	34	4.57	0.12	0.88	0.13
11	34	34	0.00	0.00	1.00	0.00
12	34	34	0.00	0.00	1.00	0.00

En donde BS es Base seca y BH en base húmeda. El promedio del peso final del producto seco fue de 34 kg, el porcentaje de humedad final para la harina en base seca fue de 0.13%.

#### D. Datos del análisis proximal de bagazo húmedo de cerveza y de las harinas de cebada malteada roja, base y caramelo

##### 1. Grasa

Cuadro 32 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de porcentaje de grasa.

Muestra	Peso beaker ( $\pm 0.0001$ )	Peso con muestra 5 g ( $\pm 0.0001$ )	Peso beaker + grasa ( $\pm 0.0001$ )	Porcentaje de grasa (%BS)	Porcentaje de grasa (%BS)
1.1	75.4567	5.0004	75.7678	6.222	0.0001
1.2	75.1515	5.0007	75.4672	6.313	0.0001
2.1	75.6198	5.0003	75.9918	7.440	0.0001
2.2	75.2017	5.0013	75.5743	7.450	0.0001
3.1	76.9649	5.0078	77.3855	8.399	0.0002
3.2	76.8757	5.0067	77.3018	8.511	0.0002
4.1	75.3298	5.1278	76.0148	13.359	0.0003
4.2	75.2335	5.1432	75.9209	13.365	0.0003

BS hace referencia en base seca. La muestra 1 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada caramelo, la muestra no. 2 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada roja. La muestra no. 3 a la muestra de harina de cebada malteada base y la muestra 4 para el bagazo de cerveza.

Cuadro 33 Porcentaje de grasa promedio (%) para las muestras analizadas.

Muestra	Promedio porcentaje grasa en (%BS)	Desviación estándar	Incertidumbre
1	6.27	0.065	0.0001
2	7.44	0.007	0.0001
3	8.45	0.079	0.0002
4	13.36	0.005	0.0003

BS hace referencia en base seca. Donde la muestra 1 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada caramelo, la muestra no. 2 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada roja. La muestra no. 3 a la muestra de harina de cebada malteada base y la muestra 4 para el bagazo de cerveza.

## 2. Proteína

Cuadro 34 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de proteínas.

Muestra	Peso Muestra $\pm 0.0001$ g	Volumen inicial de titulación $\pm 0.05$ mL	Volumen final de titulación $\pm 0.05$ mL	Porcentaje de nitrógeno (%)	Incertidumbre
1.1	0.2502	30.9	38.6	20.20	0.0337
1.2	0.25	38.6	46.1	19.69	0.0267
2.1	0.2503	19.4	28.1	22.81	0.0595
2.2	0.255	28.1	37.0	22.90	0.0417
3.1	0.2508	21.9	30.3	21.98	0.0509
3.2	0.2525	30.3	38.8	22.09	0.0375
4.1	0.2537	20.3	27.3	18.11	0.0696
4.2	0.2528	27.3	34.4	18.43	0.0384

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza. En sus duplicados.

Cuadro 35 Porcentaje de proteína promedio (%) para las muestras analizadas.

Muestra	Promedio porcentaje grasa en base seca (%)	Desviación estándar	Incertidumbre
1	19.94	0.3598	0.0302
2	22.86	0.0667	0.0506
3	22.04	0.0791	0.0442
4	18.27	0.2291	0.0540

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza.

### 3. Cenizas

Cuadro 36 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de cenizas.

Muestra	Peso crisol ± 0.0001 g	Peso crisol + muestra antes del proceso ± 0.0001 g	Peso Muestra ± 0.0001 g	Peso crisol + muestra después del proceso ± 0.0001 g	Porcentaje de cenizas (%)
1.1	20.8124	21.8167	1.0043	20.8462	3.3655
1.2	24.9435	25.9406	0.9971	24.9771	3.3698
2.1	29.5663	30.5625	0.9962	29.6012	3.5033
2.2	28.6114	29.6278	1.0164	28.6468	3.4829
3.1	25.7706	26.783	1.0124	25.8074	3.6349
3.2	20.7232	21.7211	0.9979	20.7605	3.7378
4.1	16.3431	17.3998	1.0567	16.3833	3.8043
4.2	21.6969	22.6738	0.9769	21.7305	3.4395

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza. En sus duplicados.

Cuadro 37 Porcentaje de cenizas promedio (%) para las muestras analizadas.

Muestra	Promedio porcentaje cenizas en base seca (%)	Desviación estándar	Incertidumbre
1	3.37	0.003	0.0003
2	3.49	0.014	0.0003
3	3.69	0.073	0.0004
4	3.62	0.258	0.0004

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza.

### 4. Humedad

Cuadro 38 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de humedad en base seca.

Muestra	Peso tapadera ± 0.0001 g	Peso cápsula de metal ± 0.0001 g	Peso crisol + muestra antes del proceso ± 0.0001 g	Peso muestra ± 0.0001 g	Peso muestra ± 0.0001 g	Peso crisol + muestra después del proceso ± 0.0001 g	Porcentaje de humedad (%)
1.1	4.6425	11.8884	16.4689	4.5805	21.1114	20.8002	6.7940
1.2	4.5473	10.1106	15.6097	5.4991	20.157	19.7735	6.9739
2.1	4.4128	11.0953	16.0747	4.9794	20.4875	20.0677	8.4307
2.2	4.9515	11.9388	17.1269	5.1881	22.0784	21.639	8.4694
3.1	5.0257	11.6081	16.1835	4.5754	21.2092	20.9696	5.2367
3.2	4.851	12.1078	17.156	5.0482	22.007	21.7247	5.5921
4.1	4.3665	11.1013	16.2245	5.1232	20.591	20.2984	5.7113
4.2	4.9376	12.3588	17.3288	4.97	22.2664	21.9823	5.7163

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza. En sus duplicados.

Cuadro 39 Porcentaje de humedad en base seca promedio (%) para las muestras analizadas.

Muestra	Promedio porcentaje de humedad en base seca (%)	Desviación estándar	Incertidumbre
1	6.8839	0.1272	0.0001
2	8.4501	0.0273	0.0002
3	5.4144	0.2513	0.0001
4	5.7138	0.0036	0.0002

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza.

## 5. Fibra dietética

Cuadro 40 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de fibra dietética en base seca.

Muestra	Peso muestra desgrasada (g)	W1 (g)	W2 (g)	Peso de proteína (g)	%FDT
1.1	1.1265	43.3368	44.0678	0.0433	38.6420
1.2	1.1069	44.1739	44.8811	0.0433	40.0859
2.1	1.0154	35.8007	36.4195	0.0420	35.3729
2.2	1.0180	35.6946	36.3004	0.0348	35.1143
3.1	1.0022	35.9565	36.6218	0.0381	36.0235
3.2	1.0086	33.9680	34.6452	0.0394	33.7653
4.1	1.3254	35.1436	35.8113	0.0413	26.9097
4.2	1.0545	37.2559	38.1046	0.0413	35.8181

Se utilizaron las siguientes abreviaciones W1 = Peso crisol de fondo poroso + 0.5g celite, W2= Peso fibra filtrada y horneada (g). Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza. En sus duplicados.

Cuadro 41 Porcentaje de fibra dietética en base seca.

Muestra	Promedio de FDT (%)	Desviación estándar	Incertidumbre
1	39.36	1.021	0.0495
2	35.24	0.183	0.0423
3	34.89	1.597	0.0385
4	31.36	6.299	0.0288

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza. En sus duplicados.

## 6. Fibra cruda.

Cuadro 42 Datos crudos con Incertidumbre para el cálculo de Fibra cruda.

Muestra	Peso inicial $\pm 0.0001$ g	Peso final $\pm 0.0001$ g	Muestra $\pm 0.0001$ g	Peso cp $\pm 0.0001$ g	Fibra mufla $\pm 0.0001$ g	Cenizas $\pm 0.0001$ g
1.1	169.9235	170.9639	1.0404	29.8188	29.8247	0.0059
1.2	162.8019	163.8897	1.0878	29.697	29.7032	0.0062
2.1	173.3571	174.3507	0.9936	29.2911	29.2913	0.0002
2.2	170.2525	171.2586	1.0061	30.5538	30.5540	0.0002

Muestra	Peso inicial ± 0.0001 g	Peso final ± 0.0001 g	Muestra ± 0.0001 g	Peso cp ± 0.0001 g	Fibra mufla ± 0.0001 g	Cenizas ± 0.0001 g
3.1	167.9423	168.9227	0.9804	30.1549	30.1550	0.0001
3.2	164.6863	165.6853	0.9990	29.7545	29.7546	0.0001

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2 y a la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3. En sus duplicados. El peso inicial hace referencia al peso del vaso precipitado vacío, el peso final el peso del vaso precipitado + 1g de muestra desgrasada ± 0.0001 g. y la diferencia de los dos sirve para encontrar el peso de la muestra desgrasada utilizada. El peso del crisol de fondo poroso vacío es el peso cp. Fibra mufla es el peso obtenido después de la mufla.

Cuadro 43 Porcentaje de fibra cruda (%) para las muestras analizadas.

Muestra	Promedio porcentaje grasa en base seca (%)	Desviación estándar	Incertidumbre
1	0.57	0.0020	0.0003
2	0.02	0.0002	0.0001
3	0.01	0.0001	0.0001

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza.

## 7. Carbohidratos

Cuadro 44 Datos crudos con incertidumbre para el cálculo de carbohidratos.

Muestra	Grasa	Proteína	Ceniza	Fibra dietética	Fibra cruda	Humedad	Suma	Carbohidratos
1.1	6.2215	20.1963	3.3655	38.6420	0.5671	6.7940	75.7864	24.2136
1.2	6.3131	19.6875	3.3698	40.0859	0.5700	6.9739	77.0001	22.9999
2.1	7.4396	22.8101	3.5033	35.3729	0.0201	8.4307	77.5768	22.4232
2.2	7.4501	22.9044	3.4829	35.1143	0.0199	8.4694	77.4409	22.5591
3.1	8.3989	21.9797	3.6349	36.0235	0.0102	5.2367	75.2838	24.7162
3.2	8.5106	22.0916	3.7378	33.7653	0.0100	5.5921	73.7074	26.2926
4.1	15.0397	14.1544	1.6377	26.9097	NA	14.0091	71.7506	28.2494
4.1	16.6492	11.9744	1.6646	35.8181	NA	5.4609	71.5673	28.4327

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza. En sus duplicados.

Cuadro 45 Porcentaje de carbohidratos (%) para las muestras analizadas.

Muestra	Promedio porcentaje grasa en base seca (%)	Desviación estándar	Incertidumbre
1	23.61	0.858	0.0034
2	22.49	0.096	0.0039
3	25.50	1.115	0.0030
4	28.34	0.130	0.0031

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2, la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3 y la muestra 4 para el bagazo de cerveza.

E. Datos del análisis fisicoquímico de las harinas de cebada malteada roja, base y caramelo.

1. Actividad de agua

Cuadro 46 Datos crudos sobre actividad de agua para cada una de las harinas.

Muestra	Actividad de agua (aw)	Temperatura (°C)
1.1	0.572	24.2
1.2	0.569	24.7
2.1	0.66	24.8
2.2	0.661	24.8
3.1	0.51	24.9
3.2	0.505	25

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2 y la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3. Estas muestras fueron analizadas por triplicado para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Cuadro 47 Datos promedios obtenidos sobre la actividad de agua para cada una de las harinas.

Muestra	Actividad de agua (aw)	Temperatura (°C)	Desviación estándar
1	0.5705	24.45	0.0021
2	0.6605	24.8	0.0007
3	0.5075	24.95	0.0035

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2 y la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3.

2. Densidad

Cuadro 48 Densidad de las harinas (g/cm<sup>3</sup>) para cada una de las harinas.

Muestra	Peso ± 0.01 g	Volumen ± 0.1 mL	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1.1	24.11	50	0.4822
1.2	24.39	50	0.4878
1.3	24.93	50	0.4986
2.1	23.56	50	0.4712
2.2	23.88	50	0.4776
2.3	23.98	50	0.4796
3.1	22.12	50	0.4424
3.2	22.72	50	0.4544
3.3	22.25	50	0.4450

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2 y la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3. En sus triplicados.

Cuadro 49 Densidad de las harinas (g/cm<sup>3</sup>) promedio para cada una de las harinas.

Muestra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación estándar	Incertidumbre
1	0.4895	0.0083	0.0010
2	0.4761	0.0044	0.0010
3	0.4473	0.0063	0.0009

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2 y la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3.

### 3. Absorción de agua

Cuadro 50 Datos crudos para el porcentaje de absorción de agua para cada una de las harinas.

Datos crudos para el porcentaje de absorción de agua para cada una de las harinas.

Muestra	Peso 0.5 ± 0.0001 g	Volumen A ± 0.01mL	Volumen B ± 0.0001	Absorción de agua (%)
1.1	0.5002	3.10	0.9000	179.93
1.2	0.5003	3.10	0.9000	179.89
2.1	0.5000	3.50	0.5000	100.00
2.2	0.5001	3.50	0.5000	99.98
3.1	0.5001	3.00	1.0000	199.96
3.2	0.5000	3.00	1.0000	200.00

En donde el Volumen A es volumen pipeteado y Volumen B es el volumen absorbido. La muestra 1 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada caramelo, la muestra no. 2 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada roja y la muestra no. 3 a la muestra de harina de cebada malteada base.

Cuadro 51 Porcentaje de absorción de agua promedio para cada una de las harinas.

Muestra	Absorción de agua (%)	Desviación estándar	Incertidumbre
1	180	0.03	0.04
2	100	0.01	0.02
3	200	0.03	0.04

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2 y la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3. En sus duplicados.

### 4. Acidez titulable

Cuadro 52 Datos crudos para el porcentaje de acidez titulable.

Muestra	Peso muestra ± 0.0001 g	Volumen titulado ± 0.01 mL	Porcentaje de acidez titulable (%)
1.1	18.0001	2.10	0.0572
1.2	18.0001	2.00	0.0544
1.3	18.0002	1.40	0.0381
2.1	18.0002	2.00	0.0544
2.2	18.0001	2.00	0.0544
2.3	18.0001	2.00	0.0544
3.1	18.0000	1.20	0.0327
3.2	18.0001	1.10	0.0299
3.3	18.0001	1.10	0.0299

Donde el volumen titulado con la solución NaOH 0.1N. Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2 y la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3. En sus duplicados.

Cuadro 53 Porcentaje de absorción de agua promedio para cada una de las harinas.

Muestra	Porcentaje de acidez titulable (%)	Desviación estándar	Incertidumbre
1	0.050	0.010	0.0003
2	0.054	0.000	0.0003
3	0.031	0.002	0.0003

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2 y la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3.

## 5. Color

Cuadro 54 Datos crudos para determinación de color por medio de HUNTER LAB.

Muestra	L	a	b
1.1	60.67	6.16	24.36
1.2	61.39	6.76	25.39
1.3	60.9	6.99	25.99
2.1	55.88	7.89	25.04
2.2	55.35	7.63	24.8
2.3	56.45	7.67	24.83
3.1	62.17	6.49	25.06
3.2	61.77	6.89	25.72
3.3	62.23	6.84	25.65

Se identificó la harina de cebada malteada caramelo como muestra no. 1, la harina de cebada malteada roja como la muestra no. 2 y la muestra de harina de cebada malteada base como no. 3. En sus triplicados.

## F. Datos crudos de capacidad de retención de solventes

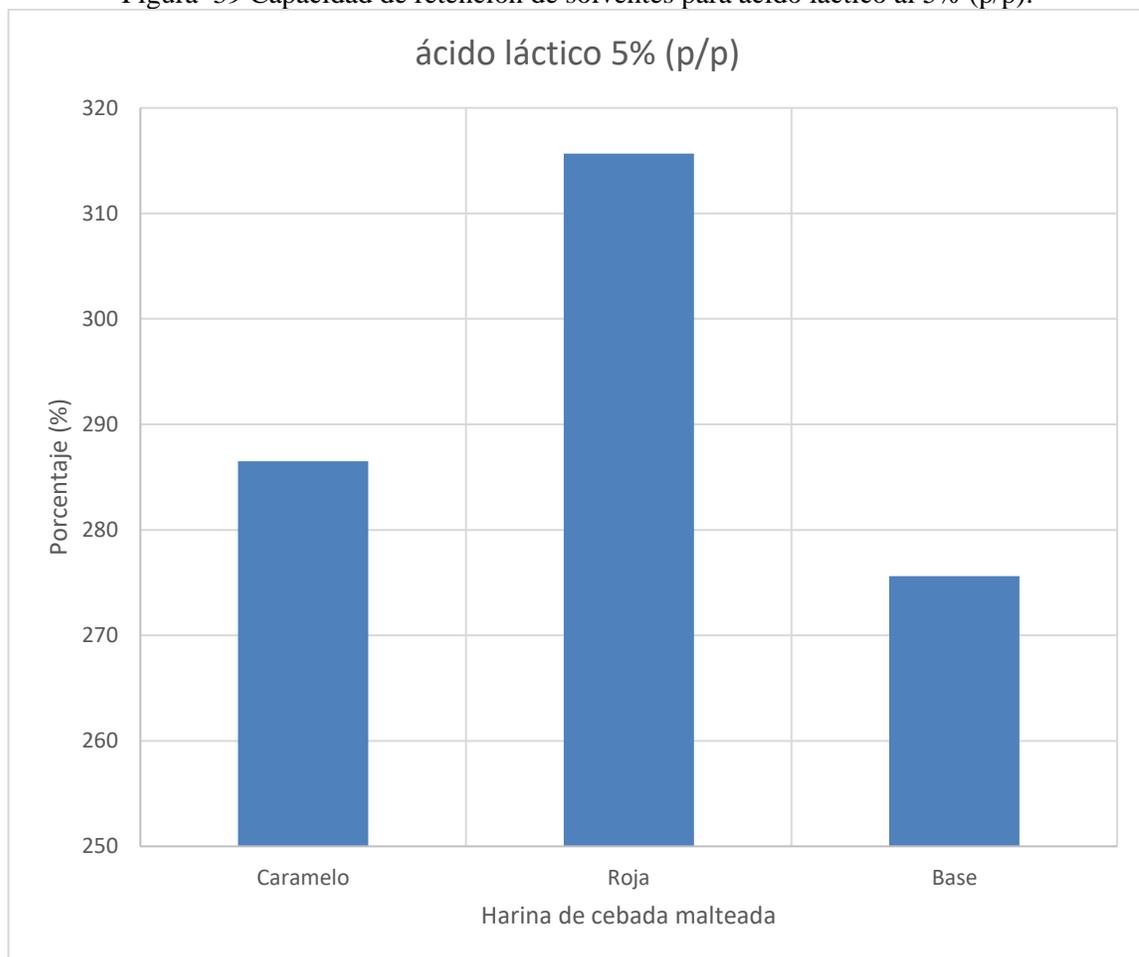
### 1. Ácido láctico

Cuadro 55 Análisis de la capacidad de retención de solventes SRC (%) para solución de ácido láctico 5% (p/p).

Muestra	Peso inicial (Po) ± 0.0001 g	Muestra ± 0.0001 g	Peso final ± 0.0001 g	Peso masa hidratada ± 0.0001 g	SRC (%)
1.1	11.4097	5.0002	32.274	20.8643	285
1.2	11.4841	5.0004	32.4693	20.9852	288
2.1	11.5365	5.0001	33.6718	22.1353	316
2.2	11.5456	5.0002	33.6608	22.1152	315
3.1	11.5688	5.0002	32.3139	20.7451	277
3.2	11.3596	5.0001	31.9259	20.5663	274

El peso inicial es el peso del tubo de centrifuga vacío, peso final es el peso del tubo centrifuga después de centrifugado. La muestra 1 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada caramelo, la muestra no. 2 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada roja y la muestra no. 3 a la muestra de harina de cebada malteada base. En sus duplicados.

Figura 39 Capacidad de retención de solventes para ácido láctico al 5% (p/p).



En se puede observar que la harina de cebada malteada roja es la que mejor capacidad de retención de solventes para ácido láctico al 5% posee.

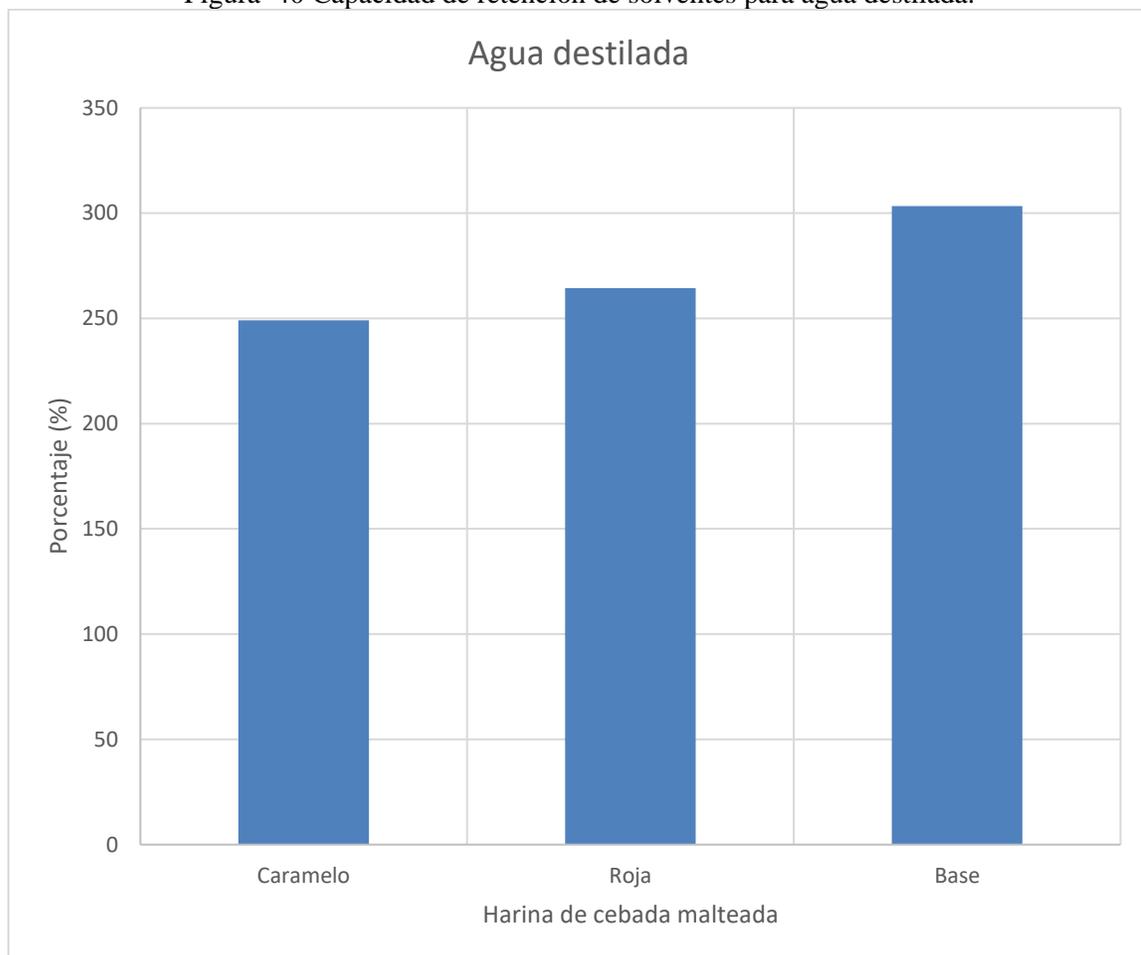
## 2. Agua destilada

Cuadro 56 Análisis de la capacidad de retención de solventes SRC (%) para agua destilada.

Muestra	Peso inicial ± 0.0001 g	Muestra ± 0.0001 g	Peso final ± 0.0001 g	Peso masa hidratada ± 0.0001 g	SRC (%)
1.1	11.4047	5.0009	30.2047	18.8000	247
1.2	11.3862	5.0008	30.3918	19.0056	251
2.1	11.3842	5.0001	30.8869	19.5027	266
2.2	11.3964	5.0033	30.6900	19.2936	262
3.1	11.2950	5.0003	33.4678	22.1728	303
3.2	11.3526	5.0001	33.5503	22.1977	304

El peso inicial es el peso del tubo de centrifuga vacío, peso final es el peso del tubo centrifuga después de centrifugado. La muestra 1 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada caramelo, la muestra no. 2 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada roja y la muestra no. 3 a la muestra de harina de cebada malteada base.

Figura 40 Capacidad de retención de solventes para agua destilada.



Se puede observar que la harina de cebada malteada y caramelo son capaces de retener el agua destilada de manera similar y la harina de cebada malteada base es la que mayor capacidad de retención posee.

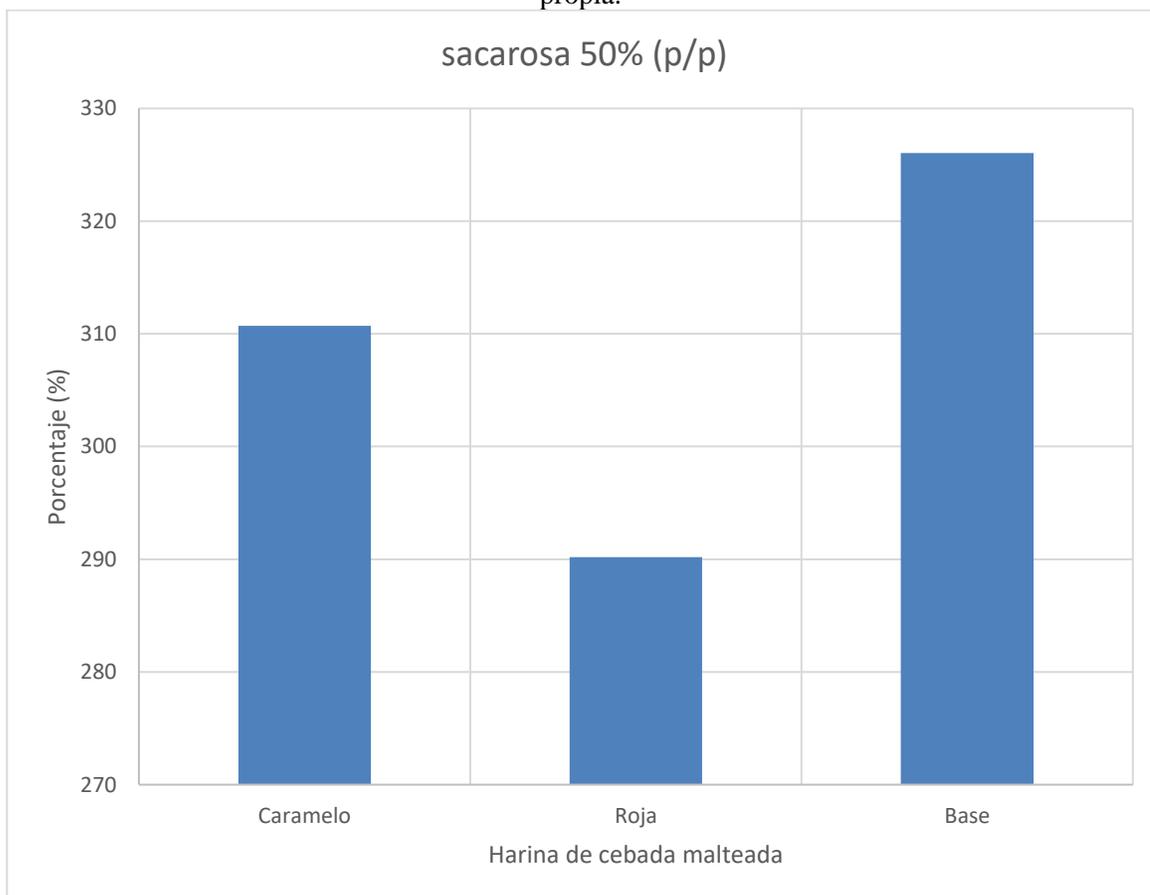
### 3. Sacarosa

Cuadro 57 Análisis de la capacidad de retención de solventes SRC (%) para solución de sacarosa 5% (p/p).

Muestra	Peso inicial ± 0.0001 g	Muestra ± 0.0001 g	Peso final ± 0.0001 g	Peso masa hidratada ± 0.0001 g	SRC (%)
1.1	11.2139	5.0015	33.4874	22.2735	311
1.2	11.2865	5.0002	33.4909	22.2044	310
2.1	11.4240	5.0001	32.1070	20.6830	289
2.2	11.4943	5.0001	32.3504	20.8561	292
3.1	11.4186	5.0007	34.8161	23.3975	325
3.2	11.4088	5.0003	34.8720	23.4632	327

El peso inicial es el peso del tubo de centrifuga vacío, peso final es el peso del tubo centrifuga después de centrifugado. La muestra 1 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada caramelo, la muestra no. 2 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada roja y la muestra no. 3 a la muestra de harina de cebada malteada base.

Figura 41 Capacidad de retención de solventes para sacarosa 5% (p/p). Fuente de elaboración propia.



En la gráfica se puede observar que la harina de cebada base posee mayor capacidad de retención de solventes para sacarosa al 5% en comparación al resto de las harinas, siendo la segunda mejor la caramelo y la base con la menor capacidad de retención de sacarosa.

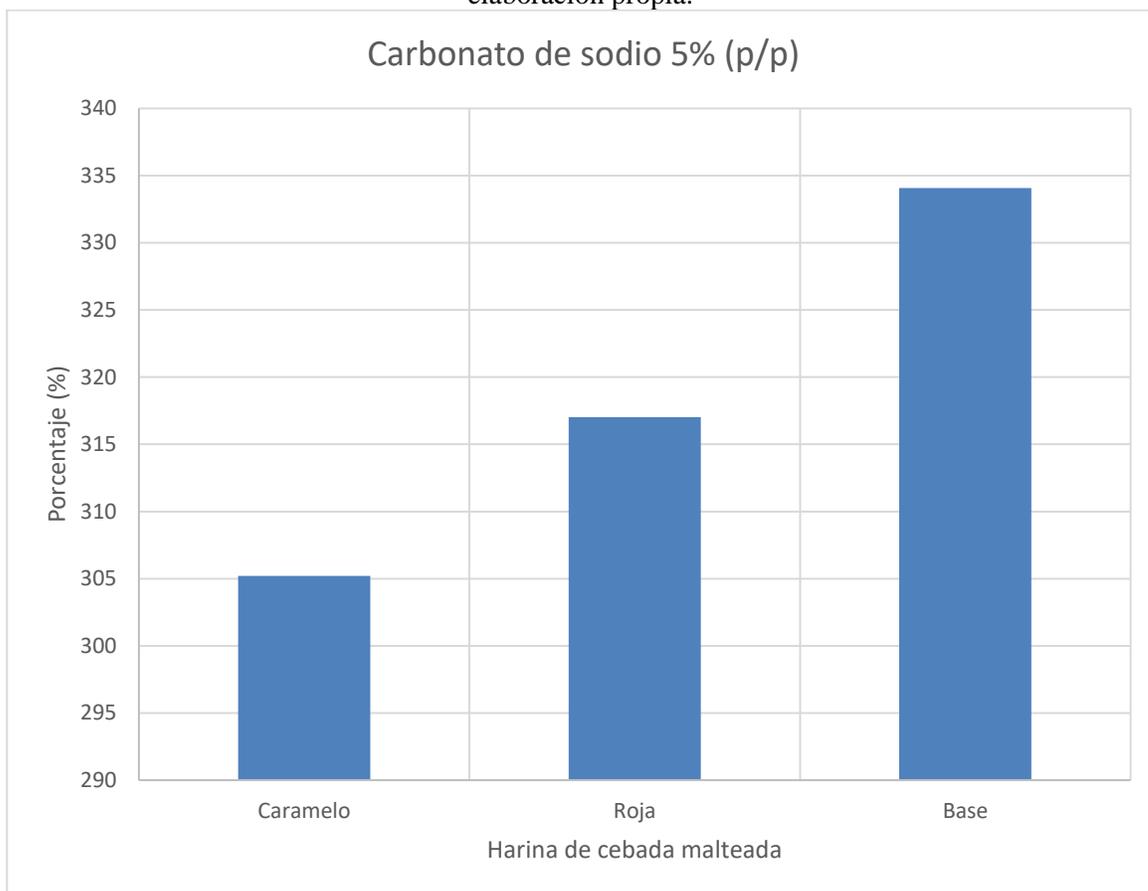
#### 4. Carbonato de sodio

Cuadro 58 Análisis de la capacidad de retención de solventes SRC (%) para solución de carbonato de sodio 5% (p/p).

Muestra	Peso inicial (Po) ± 0.0001 g	Muestra ± 0.0001 g	Peso final (Pf) ± 0.0001 g	Peso masa hidratada ± 0.0001 g	SRC (%)
1.1	11.2208	4.9990	33.1384	21.9176	305
1.2	11.1889	5.0002	33.1414	21.9525	305
2.1	11.6389	5.0003	33.7823	22.1434	316
2.2	11.5304	5.0003	33.7821	22.2517	318
3.1	11.3876	5.0006	35.3290	23.9414	335
3.2	11.4882	5.0002	35.2921	23.8039	333

El peso inicial es el peso del tubo de centrifuga vacío, peso final es el peso del tubo centrifuga después de centrifugado. La muestra 1 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada caramelo, la muestra no. 2 corresponde a la muestra de harina de cebada malteada roja y la muestra no. 3 a la muestra de harina de cebada malteada base.

Figura 42 Capacidad de retención de solventes para Carbonato de sodio al 5% (p/p). Fuente de elaboración propia.



La harina de cebada malteada base es la que mejor capacidad de retención de solvente presenta para el carbonato de sodio al 5%, seguida de la roja y por último la harina de cebada malteada caramelo.

## 5. Granulometría

Cuadro 59 Datos obtenidos de granulometría para el proceso de disminución de partícula con molino.

no.	Tamaño de partícula	Peso inicial ( $\pm 0.0001$ g)	Peso tamizado ( $\pm 0.0001$ g)	Diferencia de peso ( $\pm 0.0001$ g)	Porcentaje (%)	Acumulado (%)
25	0.7100	89.8592	90.2197	0.3605	3.59%	1.0000
40	0.4250	84.0188	89.4718	5.4530	54.36%	0.9641
60	0.2500	80.2417	83.7464	3.5047	34.94%	0.4205
80	0.1770	81.1894	81.4084	0.2190	2.18%	0.0711
100	0.1490	80.2178	80.4025	0.1847	1.84%	0.0493
200	0.0740	76.1093	76.4091	0.2998	2.99%	0.0309
400	0.0370	78.3295	78.3395	0.0100	0.10%	0.0010
base	NA	101.0113	101.0113	0.0000	0.00%	0.0000
tapa	NA	37.3791	37.3791	0.0000	0.00%	0.0000

Se obtuvo un tamaño de partícula de 40-60 mesh. (0.4250- 0.2500mg); la masa utilizada fue  $10.0317 \text{ g} \pm 0.0001$ .

Cuadro 60 Datos obtenidos de granulometría para el proceso de disminución de partícula con molino y ciclón.

no.	Tamaño de partícula	Peso inicial (±0.0001g)	Peso tamizado (± 0.0001g)	Diferencia de peso (± 0.0001g)	Porcentaje (%)	Acumulado (%)
25	0.7100	89.8559	89.9080	0.0521	0.52%	100.00%
40	0.4250	84.0148	84.4584	0.4436	4.43%	99.48%
60	0.2500	80.2412	88.3350	8.0938	80.74%	95.05%
80	0.1770	81.1803	81.8209	0.6406	6.39%	14.31%
100	0.1490	80.2110	80.6672	0.4562	4.55%	7.92%
200	0.0740	76.1056	76.4312	0.3256	3.25%	3.37%
400	0.0370	78.3286	78.3408	0.0122	0.12%	0.12%
base	NA	101.0113	101.0113	0.0000	0.00%	0.00%
tapa	NA	37.3793	37.3793	0.0000	0.00%	0.00%

Se obtuvo un tamaño de partícula de 60-80 mesh (0.2500 - 0.1770 mg); la masa utilizada fue de 10.0241 g ± 0.0001.

### G. Desarrollo de un producto con harina de cebada malteada.

Cuadro 61 Características de las formulaciones realizadas a partir de harina de cebada malteada.

Características	Formulación		
	#1	#2	#3
Imagen			
Tipo de brownie	Chewy.	Cakey	Fudgy.
Cocción	25 min 350°C	35 min a 350°C	35 min a 350°C
Porcentaje de harina utilizado	13.70%	10.45%	11.39%
Color	Café claro no característico de un brownie de chocolate.	Café	Negro o café oscuro
Sabor	Leve sabor a chocolate. Fuerte sabor a cebada	Dulce sin sabor a chocolate, deja residuos amargos en el paladar	Característico a chocolate amargo, levemente dulce
Textura	Húmeda arenosa, compacta.	Seca, aglutinado, cuesta tragar, se vuelve una masa	Compacta, similar a una trufa de chocolate, característico de un

Características	Formulación		
	#1	#2	#3
		densa al entrar en contacto con la saliva en la boca. Propiedades similares a un brownie tipo Cakey.	brownie Fudgy
<b>Observación</b>	Se recomienda agregar más chocolate por color y sabor.	Se recomienda agregar más chocolate.	No se dieron observaciones.

El Porcentaje (%) de harina hace referencia a la proporción de harina utilizada en la formulación de los brownies. Se llevó a cabo 3 formulaciones diferentes de brownies, con el fin de llegar a la muestra que se utilizó en el análisis sensorial. La cual se comparó con un brownie elaborado a base de harina de trigo con las mismas formulaciones.

## H. Datos de análisis sensorial

### 1. Hoja maestra

#### Hoja Maestra

Cuadro 62 Descripción de codificación de las muestras.

Muestras	Código de letra	Código asignado
Brownie a base de harina de cebada malteada	A	463
Brownie a base de harina de trigo	B	728

Cuadro 63 Orden de presentación de las muestras.

Panelista	Orden de presentación	
Impar de (1-59)	AB	463-718
Par (2-60)	BA	728-463

Cuadro 64 Tabla presentación de todos los panelistas.

Hoja Maestra			
Panelista	Orden de presentación		
1	AB	463	728
2	BA	728	463
3	AB	463	728
4	BA	728	463
5	AB	463	728
6	BA	728	463
7	AB	463	728
8	BA	728	463
9	AB	463	728
10	BA	728	463
11	AB	463	728
12	BA	728	463

<b>Hoja Maestra</b>			
<b>Panelista</b>	<b>Orden de presentación</b>		
13	AB	463	728
14	BA	728	463
15	AB	463	728
16	BA	728	463
17	AB	463	728
18	BA	728	463
19	AB	463	728
20	BA	728	463
21	AB	463	728
22	BA	728	463
23	AB	463	728
24	BA	728	463
25	AB	463	728
26	BA	728	463
27	AB	463	728
28	BA	728	463
29	AB	463	728
30	BA	728	463
31	AB	463	728
32	BA	728	463
33	AB	463	728
34	BA	728	463
35	AB	463	728
36	BA	728	463
37	AB	463	728
38	BA	728	463
39	AB	463	728
40	BA	728	463
41	AB	463	728
42	BA	728	463
43	AB	463	728
44	BA	728	463
45	AB	463	728
46	BA	728	463
47	AB	463	728
48	BA	728	463
49	AB	463	728
50	BA	728	463
51	AB	463	728

Hoja Maestra			
Panelista	Orden de presentación		
52	BA	728	463
53	AB	463	728
54	BA	728	463
55	AB	463	728
56	BA	728	463
57	AB	463	728
58	BA	728	463
59	AB	463	728
60	BA	728	463

## 2. Prueba de aceptación

### Formulario de consentimiento para prueba de análisis de aceptación sensorial

El cuestionario del panel sensorial fue elaborado en Google Forms de manera digital con el fin de evitar el contacto. El tiempo de duración de llenado de la encuesta es de 10 min.

Figura 43 Vista del cuestionario utilizado para el panel sensorial.

Prueba sensorial de aceptación de brownie de chocolate.

Formulario de consentimiento:

El objetivo de esta encuesta es realizar un estudio sobre la aceptación de brownies de chocolate elaborados con harina de cebada malteada.

Las muestras para probar contienen gluten, SI USTED TIENE ALERGIAS O INTOLERANCIAS AL GLUTEN O A CUALQUIERA DE LOS INGREDIENTES COMUNES EN GALLETAS O PRODUCTOS PANIFICADOS, COMO EL MANÍ, NO DEBE PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO.

La participación es voluntaria, los datos recabados se utilizarán para fines educativos y no serán publicados. Esta actividad es parte del curso de DISEÑO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS 1 de la Universidad del Valle de Guatemala.

Agradecemos el tiempo destinado para realizar esta prueba.

Edad

18 a 25 años

26 a 35 años

36 a 45 años

46 a 55 años

55 años en adelante.

Otra...

Género

Mujer

Hombre

Prefiero no decirlo

Otra...

En la vista previa se puede leer el formulario de consentimiento en donde se indica las posibles alergias e intolerancias que las muestras a evaluar pueden contener. Posteriormente se encuentra

una serie de preguntas sobre el consumidor. En donde la información brindada por el panelista se entiende como consentimiento voluntario.

### 3. Formulario de consentimiento informado

#### **Formulario de consentimiento**

El objetivo de esta encuesta es realizar un estudio sobre la aceptación de brownies de chocolate elaborados con harina de cebada malteada.

Las muestras para probar contienen gluten, SI USTED TIENE ALERGIAS O INTOLERANCIAS AL GLUTEN O A CUALQUIERA DE LOS INGREDIENTES COMUNES EN GALLETAS O PRODUCTOS PANIFICADOS, COMO EL MANÍ, NO DEBE PARTICIPAR EN ESTE ESTUDIO. La participación es voluntaria, los datos recabados se utilizarán para fines educativos y no serán publicados. Esta actividad es parte del curso de DISEÑO E INNOVACIÓN EN INGENIERÍA DE ALIMENTOS 1 de la Universidad del Valle de Guatemala. Agradecemos el tiempo destinado para realizar esta prueba.

### 4. Preguntas del panel sensorial

Edad

- 18 a 25 años
- 26 a 35 años
- 36 a 45 años
- 46 a 55 años
- 55 años en adelante.

Género

- Mujer
- Hombre
- Prefiero no decirlo
- Otro.

¿Eres intolerante o alérgico al gluten?

- Sí, soy alérgico.
- Sí, soy intolerante.
- No.

¿Eres alérgico al maní?

- Sí, soy alérgico.
- No.

En el último mes, ¿con qué frecuencia has consumido brownies?

- 1 vez al día.
- 2 o 3 veces a la semana.
- 2 o 3 veces al mes.
- 1 vez en el mes.
- No consumo.

No. de panelista \_\_\_\_\_ (texto de respuesta corta) \_\_\_\_\_

En el kit de análisis sensorial viene un número en grande, el cual indica el número de panelista. Por favor colocar el número de la misma manera en la siguiente pregunta.

No. de panelista \_\_\_\_\_ (texto de respuesta corta) \_\_\_\_\_

A continuación, se le presenta una serie de preguntas, que usted deberá responder con base en las muestras que se le dieron en el kit de análisis. En ella encontrará dos muestras, por favor inicie con la muestra de la izquierda y responda las preguntas. Una vez acabada la primera parte limpie su paladar (Toma un bocado de galleta y un sorbo de agua) y comience nuevamente con la siguiente muestra, vuelva a responder las preguntas con base en su opinión.

No. de muestra:

- 463
- 728

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta la muestra EN GENERAL?

1. No me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco
5. Me gusta mucho.

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta la APARIENCIA de la muestra?

1. No me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco.
5. Me gusta mucho

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta el COLOR de la muestra?

1. No me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco.
5. Me gusta mucho

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta el OLOR de la muestra?

1. No me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco.
5. Me gusta mucho

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta la SABOR de la muestra?

1. No me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco.
5. Me gusta mucho

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta la TEXTURA de la muestra?

1. No me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco.
5. Me gusta mucho

Comentario \_\_\_\_\_ (texto de respuesta larga) \_\_\_\_\_

Ahora toca evaluar la muestra del lado derecho. Las instrucciones siguen siendo las mismas.

Instrucciones: Toma un bocado de galleta y un sorbo de agua para limpiar su paladar. Pruebe la muestra y seleccione que tanto le gusta la muestra. Tome su tiempo para evaluar cada una de las preguntas. Recuerde limpiar su paladar antes de probar cada una de las muestras y en cualquier momento que sienta necesario. Si tiene alguna pregunta, consulte al servidor.

No. de muestra:

- 463
- 728

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta la muestra EN GENERAL?

1. NO me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco
5. Me gusta mucho.

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta la APARIENCIA de la muestra?

1. NO me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco
5. Me gusta mucho

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta el COLOR de la muestra?

1. NO me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco
5. Me gusta mucho

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta el OLOR de la muestra?

1. NO me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco
5. Me gusta mucho

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta la SABOR de la muestra?

1. NO me gusta nada
2. No me gusta un poco

3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco
5. Me gusta mucho

Seleccione según la escala del 1 al 5. ¿Cuánto le gusta la TEXTURA de la muestra?

1. NO me gusta nada
2. No me gusta un poco
3. Ni me gusta ni me disgusta
4. Me gusta un poco
5. Me gusta mucho

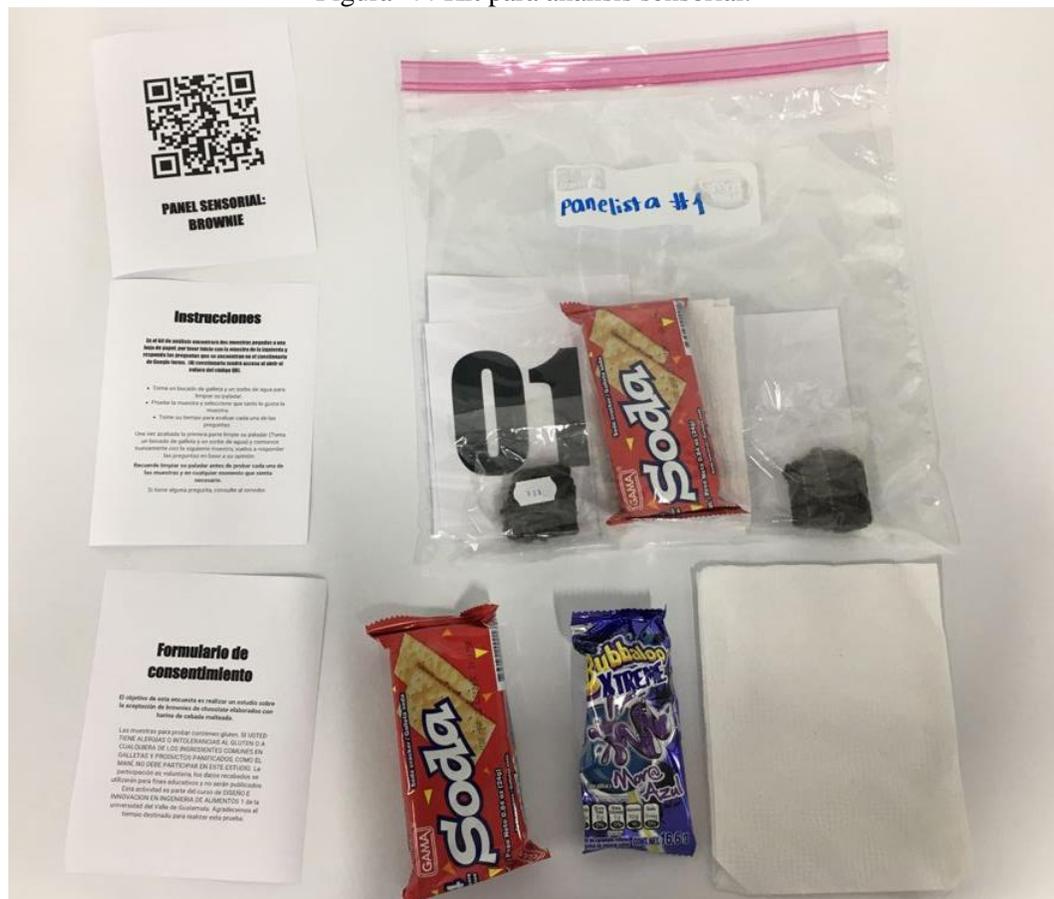
Comentario \_\_\_\_\_ (texto de respuesta larga) \_\_\_\_\_

¡Muchas Gracias por tu participación!

En conjunto con el kit de análisis sensorial se te dará un premio por tu participación.

## 5. Kit de análisis sensorial

Figura 44 Kit para análisis sensorial.



En el kit de análisis sensorial se encuentra el número de panelista en grande “01”, el código QR enlazado con la encuesta a resolver, una hoja con las instrucciones, y el consentimiento informado que es el mimo en la encuesta. La galleta soda para limpiar el paladar, el premio, una servilleta y las dos muestras a analizar, ordenadas según la hoja maestra.

## 6. Datos crudos del panel sensorial

Cuadro 65 Datos ordenados obtenidos de la encuesta del panel sensorial de brownies de chocolate elaborados a partir de cebada malteada.

Panelista	Código	Aceptación	Apariencia	Color	Olor	Sabor	Textura
1	463	2	2	4	3	2	2
1	728	3	4	5	3	3	4
2	463	4	5	5	4	3	3
2	728	2	5	5	2	2	2
3	463	4	4	5	4	3	3
3	728	4	5	5	3	4	5
4	463	2	2	4	5	1	2
4	728	4	5	5	5	4	4
5	463	4	2	3	5	4	2
5	728	3	4	4	3	2	4
6	463	4	2	5	5	3	2
6	728	4	3	4	4	4	5
7	463	2	1	5	5	3	1
7	728	3	4	5	2	4	5
8	463	2	3	3	5	2	3
8	728	3	4	5	3	4	3
9	463	2	2	5	5	4	1
9	728	4	5	5	1	1	1
10	463	5	2	3	5	5	2
10	728	4	3	4	5	4	3
11	463	3	1	4	4	3	1
11	728	4	5	4	3	4	5
12	463	2	1	4	4	2	1
12	728	4	5	5	5	4	2
13	463	5	4	5	5	5	5
13	728	5	5	5	1	4	5
14	463	3	4	3	4	3	2
14	728	4	3	4	3	4	5
15	463	4	2	5	5	4	2
15	728	4	4	5	3	4	4
16	463	5	5	5	5	5	5
16	728	5	5	5	5	5	4
17	463	4	3	2	5	4	4
17	728	1	4	4	1	2	1
18	463	4	4	4	3	4	2
18	728	5	5	4	4	5	5
19	463	4	3	3	4	4	3
19	728	4	4	3	3	4	3

Panelista	Código	Aceptación	Apariencia	Color	Olor	Sabor	Textura
20	463	4	4	5	5	4	4
20	728	3	4	4	2	2	2
21	463	4	4	5	5	4	4
21	728	2	4	5	4	2	1
22	463	5	4	5	4	5	3
22	728	2	4	4	1	1	4
23	463	2	4	3	4	3	3
23	728	3	4	4	2	2	1
24	463	4	4	5	5	4	3
24	728	1	3	4	1	1	2
25	463	2	2	3	3	2	1
25	728	2	3	3	1	2	3
26	463	3	4	4	4	3	4
26	728	4	3	5	3	4	1
27	463	4	1	5	5	3	2
27	728	5	5	5	5	5	5
28	463	5	4	3	5	5	3
28	728	5	5	5	2	3	2
29	463	3	2	2	5	4	2
29	728	4	5	4	2	3	4
30	463	3	2	3	4	2	4
30	728	5	4	4	2	5	3
31	463	3	3	4	3	4	2
31	728	3	4	5	3	2	2
32	463	2	2	3	4	2	1
32	728	3	3	3	4	3	2
33	463	5	5	5	5	4	3
33	728	5	5	5	5	5	5
34	463	2	4	5	3	1	1
34	728	2	3	5	2	2	1
35	463	3	3	2	3	3	3
35	728	1	1	2	1	2	1
36	463	3	3	3	4	3	2
36	728	3	4	3	3	3	4
37	463	1	3	2	2	2	1
37	728	2	2	3	1	2	1
38	463	3	3	4	4	4	1
38	728	2	4	4	1	1	4
39	463	2	4	5	4	2	4
39	728	4	4	4	4	3	3
40	463	3	2	2	4	4	1

Panelista	Código	Aceptación	Apariencia	Color	Olor	Sabor	Textura
40	728	2	4	2	1	2	1
41	463	2	2	3	2	1	1
41	728	3	3	3	4	4	3
42	463	4	4	5	4	4	4
42	728	4	5	4	3	4	3
43	463	3	5	5	3	2	5
43	728	3	4	5	2	3	4
44	463	5	5	5	5	5	4
44	728	4	5	4	5	3	2
45	463	3	3	2	4	3	2
45	728	4	5	3	4	4	4
46	463	4	4	4	4	4	5
46	728	3	4	4	2	2	2
47	463	5	3	5	4	4	5
47	728	3	5	4	5	3	4
48	463	4	4	5	5	4	2
48	728	2	2	3	1	2	3
49	463	2	1	2	4	2	1
49	728	2	2	3	1	1	2
50	463	4	1	5	5	5	1
50	728	4	5	5	3	4	5
51	463	3	2	2	4	2	1
51	728	3	3	4	1	2	4
52	463	5	3	5	4	5	3
52	728	4	3	4	5	4	2
53	463	4	4	4	5	4	3
53	728	3	4	4	3	3	5
54	463	3	2	4	4	4	2
54	728	5	5	5	4	2	2
55	463	1	3	4	4	1	1
55	728	3	5	5	4	2	5
56	463	2	3	4	5	2	1
56	728	4	3	4	2	3	3
57	463	5	5	5	5	5	4
57	728	4	4	5	4	4	4
58	463	4	3	5	3	4	2
58	728	2	2	4	2	1	1
59	463	4	4	4	3	4	4
59	728	2	3	4	2	2	1
60	463	2	3	5	2	3	4
60	728	5	5	5	5	5	4

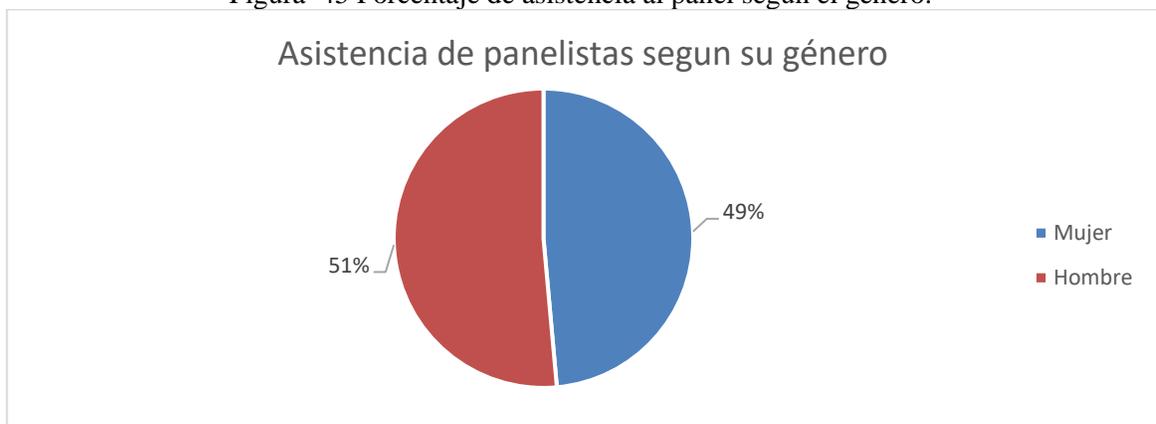
Panelista	Código	Aceptación	Apariencia	Color	Olor	Sabor	Textura
61	463	4	5	5	4	4	4
61	728	3	2	4	3	2	2
62	463	1	3	3	4	1	2
62	728	4	4	5	2	3	4
63	463	4	3	5	5	5	3
63	728	2	3	5	4	2	2
64	463	1	1	1	3	1	3
64	728	2	4	3	3	3	4
65	463	4	5	5	5	4	5
65	728	4	5	5	4	5	4
66	463	4	3	4	5	4	4
66	728	2	1	3	3	2	1
67	463	4	3	4	5	5	3
67	728	1	4	4	2	1	4
68	463	3	4	4	4	3	4
68	728	4	4	4	4	4	4
69	463	4	5	5	3	5	5
69	728	4	5	5	2	4	5
70	463	3	3	3	3	4	2
70	728	4	4	4	4	5	4

## 7. Análisis de datos de la encuesta

Cuadro 66 Asistencia al panel según su género.

Género	Personas	Promedio
Mujer	34	49
Hombre	36	51
total	70	100

Figura 45 Porcentaje de asistencia al panel según el género.

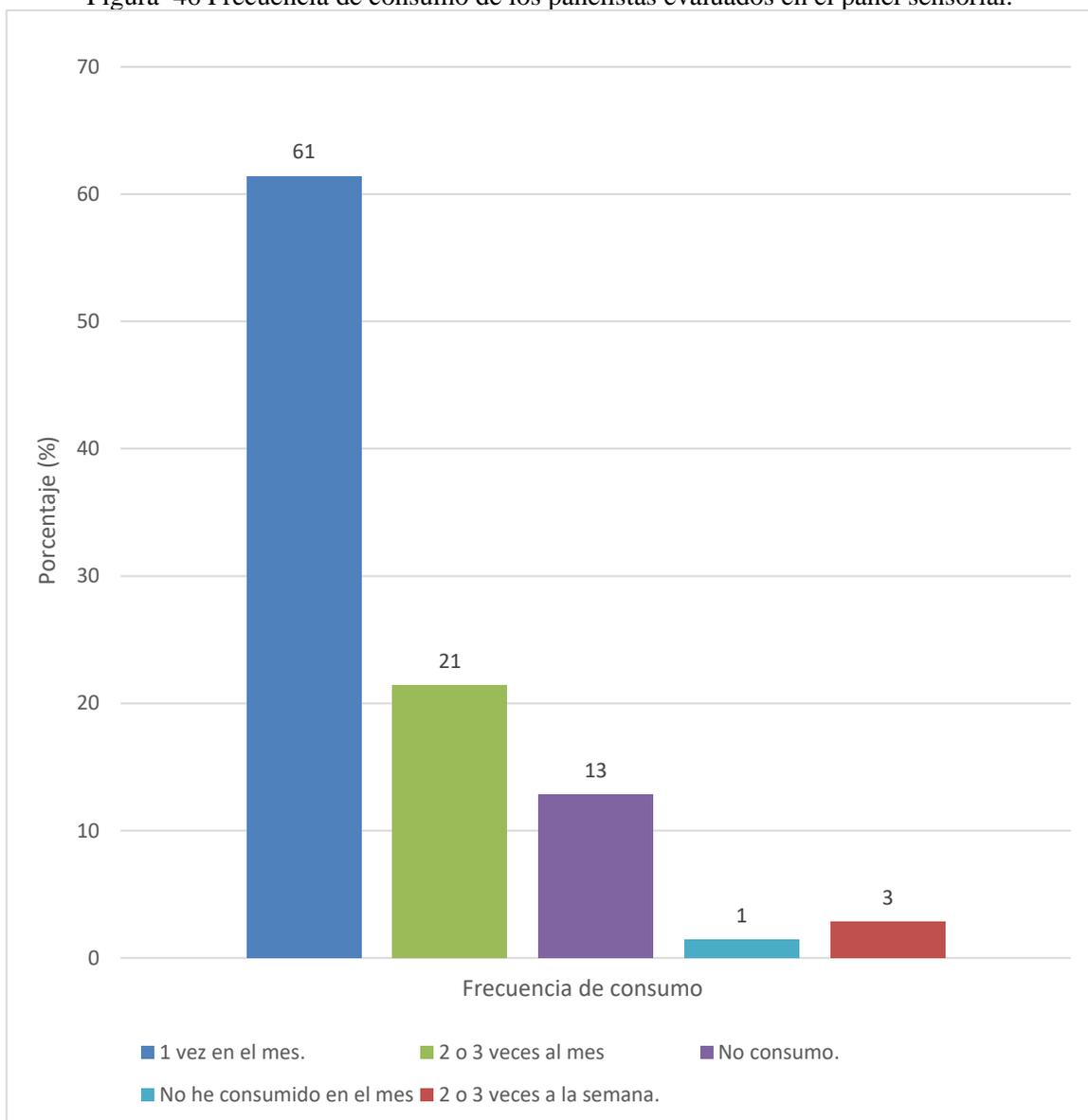


El 51% de los encuestados fue hombre y el 49% mujeres.

Cuadro 67 Frecuencia de consumo para los panelistas evaluados.

Frecuencia	no. de personas	Porcentaje (%)
1 vez en el mes.	43	61
2 o 3 veces a la semana.	2	3
2 o 3 veces al mes	15	21
No consumo.	9	13
No he consumido en el mes	1	1
Total	70	100

Figura 46 Frecuencia de consumo de los panelistas evaluados en el panel sensorial.



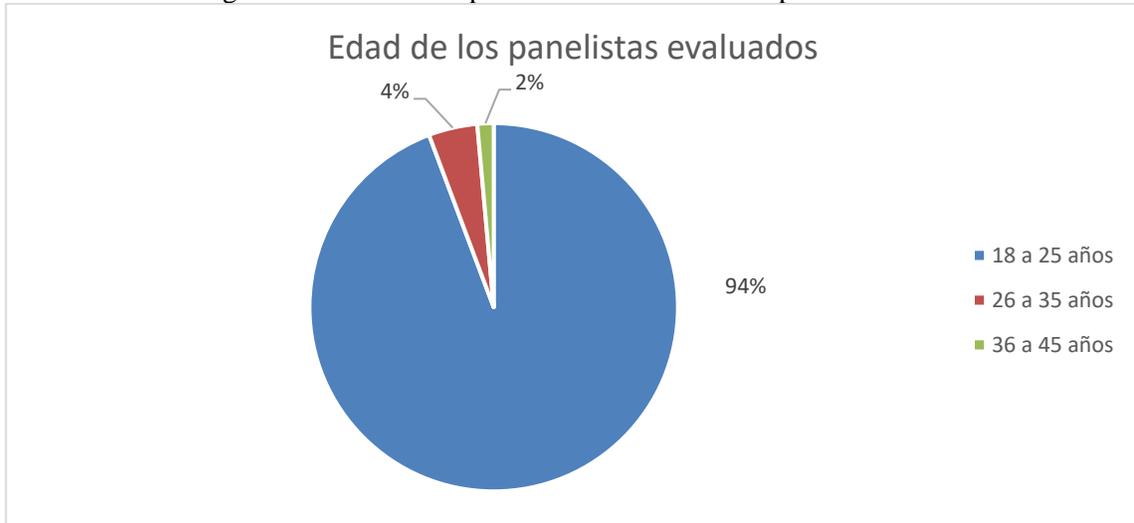
El 61% de los encuestados consume brownies 1 vez en el mes, el 21% de 2 o 2 veces al mes, el 13% no consume, el 1% No es un consumidor y tan solo el 3% lo consume frecuentemente.

Cuadro 68 Edad de los panelistas evaluados.

Edad	no. De personas	Porcentaje (%)
18 a 25 años	66	94
26 a 35 años	3	4
36 a 45 años	1	1
Total	70	100

De acuerdo con los datos de la encuesta el 94% de los encuestados se encontraba en un rango de 18 a 25 años.

Figura 47 Edad de los panelistas evaluados en el panel sensorial.



El 94% de los encuestados se encuentra entre los 18 a 25 años característico de la edad de los estudiantes de la UVG, el 4% entre los 26 a 35 años y tan solo el 2% mayor a 36 años.

Cuadro 69 Resumen del ANOVA para el atributo Aceptación general de la muestra.

Fuente de variación	Df	Suma cuadrática	Media cuadrática	Valor F	Probabilidad
Código	1	0.03	0.0286	0.022	0.881
Residuales	138	175.37	1.2708		

#### Prueba de hipótesis

Hipótesis nula  $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = 0$

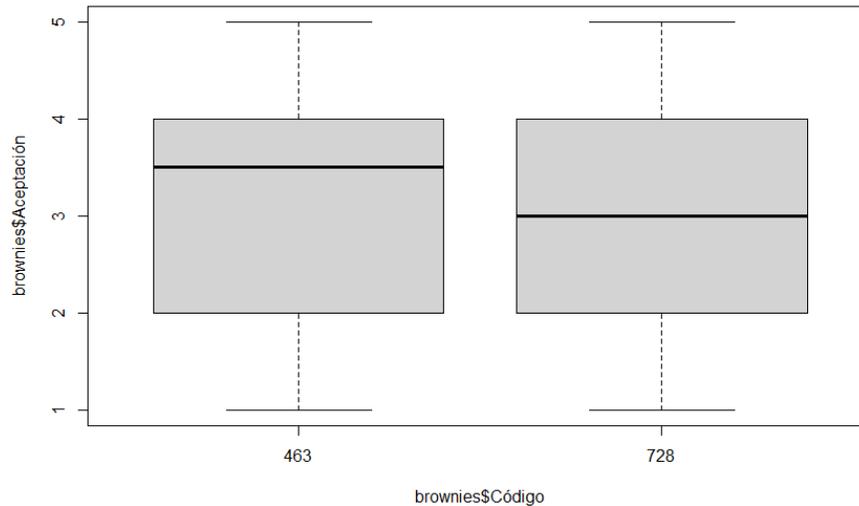
Hipótesis alternativa  $H_i = \mu_i \neq 0$  no son iguales las medias

$\alpha = 0.05$

criterio de rechazo: probabilidad < valor de alfa, se rechaza hipótesis nula.

Al realizar el ANOVA podemos concluir con un nivel de significancia de 0.05, siendo  $F_{ob} = 0.881 > 0.05$  se acepta la hipótesis nula donde las medias son iguales. Por lo tanto, no hay diferencia significativa en la aceptación en general de los brownies.

Figura 48 Diagrama de caja y bigotes para el atributo de aceptación general para las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.



En el diagrama de caja y bigotes para aceptación total se observa las medias, primer y segundo cuartil para las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo, correspondiente a los brownies evaluados. Siendo la media de la muestra 463 mayor que la del 728 lo cual nos indica que puede haber diferencia.

#### Welch Two Sample t-test

```

data: brownies$Aceptación by brownies$Código
t = 0.14994, df = 137.96, p-value = 0.881
alternative hypothesis: true difference in means between group 463 and group 728 is not
equal to 0.
95 percent confidence interval:
-0.3482019 0.4053448
sample estimates:
mean in group 463 mean in group 728.
3.314286      3.285714
    
```

**En conclusión:** en cuanto a la aceptación en general con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , siendo  $F_{ob} = 0.881 > \alpha=0.05$  no se observa diferencia significativa. Y su nivel de aceptación se encuentra en un 3.31 para la muestra 463 elaborada a partir de cebada malteada y 3.28 para la muestra 728 elaborada con harina de trigo.

Cuadro 70 Resumen del ANOVA para el atributo Apariencia de la muestra.

Fuente de variación	Df	Suma cuadrática	Media cuadrática	Valor F	Probabilidad
Código	1	21.61	21.61	17.4	5.33e-05***
Residuales	138	171.39	1.242		

#### Prueba de hipótesis

$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = 0$

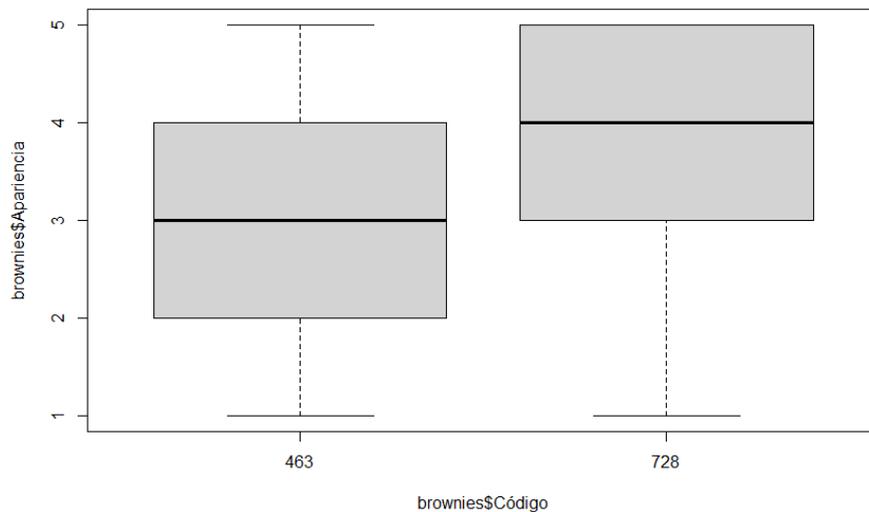
$H_i = \mu_i \neq 0$  no son iguales las medias

$\alpha = 0.05$

criterio de rechazo: probabilidad < valor de alfa, se rechaza hipótesis nula.

R// Fob= 5.33e-05 <  $\alpha=0.05$  por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

Figura 49 Diagrama de cajas y bigotes para el atributo Apariencia de las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.



En el diagrama de caja y bigotes para la Apariencia se puede observar que la media de las muestras es diferente. Teniendo un mayor valor de aceptación en cuanto a apariencia para la muestra 728 elaborada a partir de harina de trigo.

Welch Two Sample t-test:

data: brownies\$Apariencia by brownies\$Código

t = -4.1711, df = 135.6, p-value = 5.379e-05

alternative hypothesis: true difference in means between group 463 and group 728 is not equal to 0.

95 percent confidence interval:

-1.1582389 -0.4131897

sample estimates:

mean in group 463 mean in group 728.

3.114286 3.900000o

**En conclusión:** En cuanto a la aceptación en apariencia con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , siendo Fob= 5.33e-05 <  $\alpha=0.05$ , si hay evidencia para rechazar la hipótesis nula, lo que significa que si existe diferencia significativa en cuanto a la apariencia de las muestras.

Cuadro 1 Resumen del ANOVA para el atributo Color de la muestra

Fuente de variación	Df	Suma cuadrática	Media cuadrática	Valor F	Probabilidad
Código	1	1.83	1.8286	1.949	0.165
Residuales	138	129.46	0.9381		

Prueba de hipótesis

Ho=  $\mu_1=\mu_2=0$

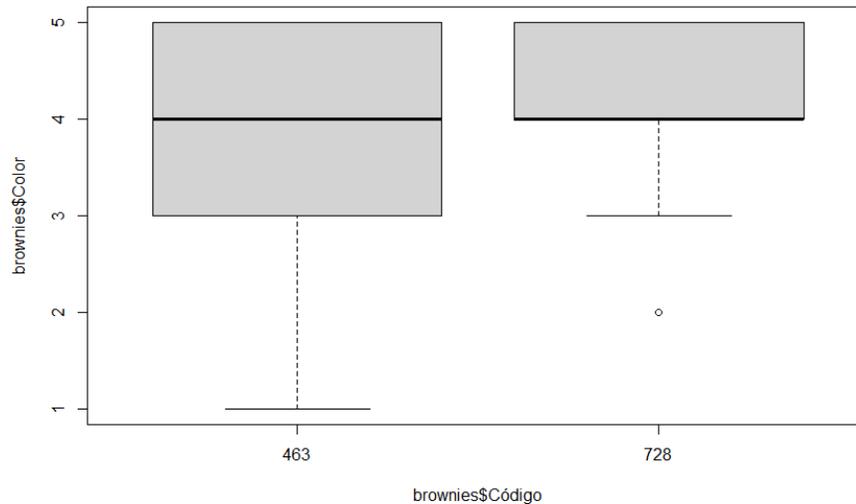
Hi=  $\mu_i \neq 0$  no son iguales las medias

$\alpha=0.05$

criterio de rechazo: probabilidad < valor de alfa, se rechaza hipótesis nula.

R// Fob= 0.165 >  $\alpha=0.05$  por lo tanto no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. No hay diferencia significativa en cuanto al color de la muestra.

Figura 50 Diagrama de caja y bigotes para el atributo Color de las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.



En el diagrama de caja y bigotes se observa que las medias son iguales en cuanto a la aceptación del color, siendo la muestra 728 me gusta un poco y la muestra 463 entre no me gusta ni disgusta y me gusta un poco.

Welch Two Sample t-test:

data: brownies\$Color by brownies\$Código

t = -1.3962, df = 125.82, p-value = 0.1651

alternative hypothesis: true difference in means between group 463 and group 728 is not equal to 0.

95 percent confidence interval:

-0.55256392 0.09542106

sample estimates:

mean in group 463 mean in group 728.

3.957143 4.185714

**En conclusión:** en cuanto a la aceptación del color con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , siendo Fob= 0.165 >  $\alpha=0.05$  no se observa diferencia significativa. Y su nivel de aceptación se encuentra en un 3.95 para la muestra 463 elaborada a partir de cebada malteada y 4.19 para la muestra 728 elaborada con harina de trigo.

Cuadro 71 Resumen del ANOVA para el atributo de Olor de la muestra.

Fuente de variación	Df	Suma cuadrática	Media cuadrática	Valor F	Probabilidad
Código	1	55.31	55.31	44.47	5.73e-10***
Residuales	139	171.66	1.24		

Prueba de hipótesis

Ho=  $\mu_1=\mu_2=0$

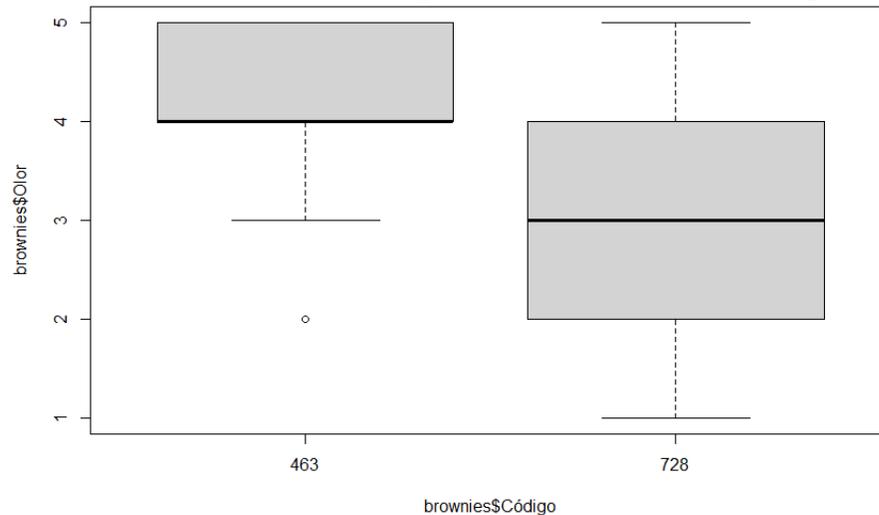
Hi=  $\mu_i \neq 0$  no son iguales las medias

$\alpha=0.05$

criterio de rechazo: probabilidad < valor de alfa, se rechaza hipótesis nula.

R// Fob= 5.73e-10 <  $\alpha=0.05$  por lo tanto se rechaza la hipótesis nula. Si hay diferencia significativa en el olor.

Figura 51 Diagrama de caja y bigotes para el atributo de Olor de las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.



En diagrama de caja y bigotes para el olor se observa mayor aceptación para la muestra 463 elaborada a partir de cebada malteada en comparación con un 4.14 a las 728 con un nivel de aceptación del 2.88. esto puede deberse a que en general la harina de trigo no posee olor y la harina de cebada malteada tiende a oler un poco más dulce.

Welch Two Sample t-test:

data: brownies\$Olor by brownies\$Codigo

t = 6.6685, df = 118.08, p-value = 8.753e-10

alternative hypothesis: true difference in means between group 463 and group 728 is not equal to 0.

95 percent confidence interval:

0.8838245 1.6304613

sample estimates:

mean in group 463 mean in group 728.

4.142857 2.885714

de rechazo: probabilidad < valor de alfa, se rechaza hipótesis nula.

**En conclusión:** En cuanto a la aceptación del olor con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , siendo Fob= 5.753e-10 <  $\alpha=0.05$ , si hay evidencia para rechazar la hipótesis nula, lo que significa que si existe diferencia significativa en cuanto al olor en las muestras.

Cuadro 72 Resumen del ANOVA para el atributo de Sabor de la muestra.

Fuente de variación	Df	Suma cuadrática	Media cuadrática	Valor F	Probabilidad
Código	1	4.11	4.114	2.807	0.0961
Residuales	138	202.29	1.466		

Prueba de hipótesis

Ho=  $\mu_1=\mu_2=0$

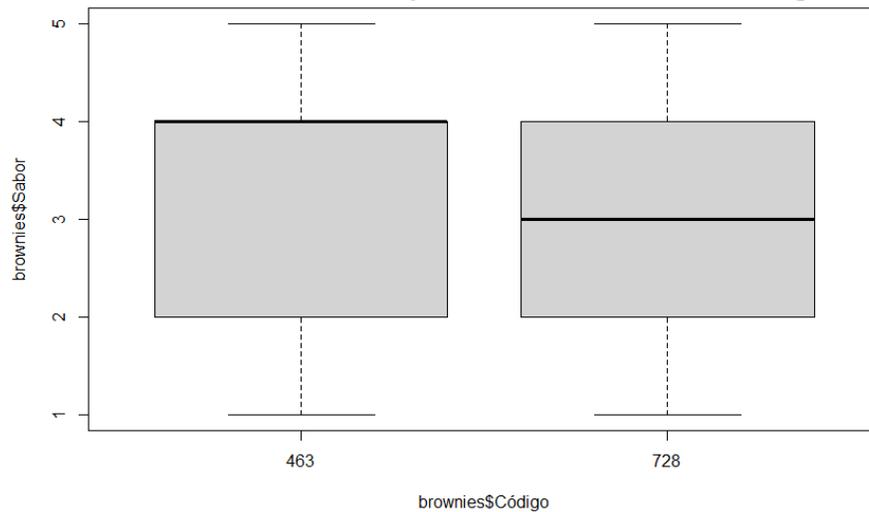
$H_1 = \mu_1 \neq 0$  no son iguales las medias

$\alpha = 0.05$

criterio de rechazo: probabilidad < valor de alfa, se rechaza hipótesis nula.

R//  $F_{ob} = 0.0961 > \alpha = 0.05$  por lo tanto no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. No hay diferencia significativa en cuanto al sabor de la muestra.

Figura 52 Diagrama de caja y bigotes para el atributo Sabor en las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.



En el diagrama de caja y bigotes para el atributo sabor se observa un comportamiento similar, lo que nos da indicios que la muestra de harina de cebada malteada se puede utilizar como sustituto de la harina de trigo.

Welch Two Sample t-test:

data: brownies\$Sabor by brownies\$Código

$t = 1.6753$ ,  $df = 137.99$ ,  $p\text{-value} = 0.09613$

alternative hypothesis: true difference in means between group 463 and group 728 is not equal to 0.

95 percent confidence interval:

-0.06179573 0.74751001

sample estimates:

mean in group 463 mean in group 728.

3.371429 3.028571

**En conclusión:** en cuanto a la aceptación del sabor con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , siendo  $F_{ob} = 0.0961 > \alpha = 0.05$  no se observa diferencia significativa. Y su nivel de aceptación se encuentra en un 3.371 para la muestra 463 elaborada a partir de cebada malteada y 3.03 elaborada con harina de trigo

Cuadro 73 Resumen del ANOVA para el atributo de Textura de la muestra.

Fuente de variación	Df	Suma cuadrática	Media cuadrática	Valor F	Probabilidad
Código	1	6.86	6.864	3.775	0.0541
Residuales	138	250.93	1.818		

Prueba de hipótesis

$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = 0$

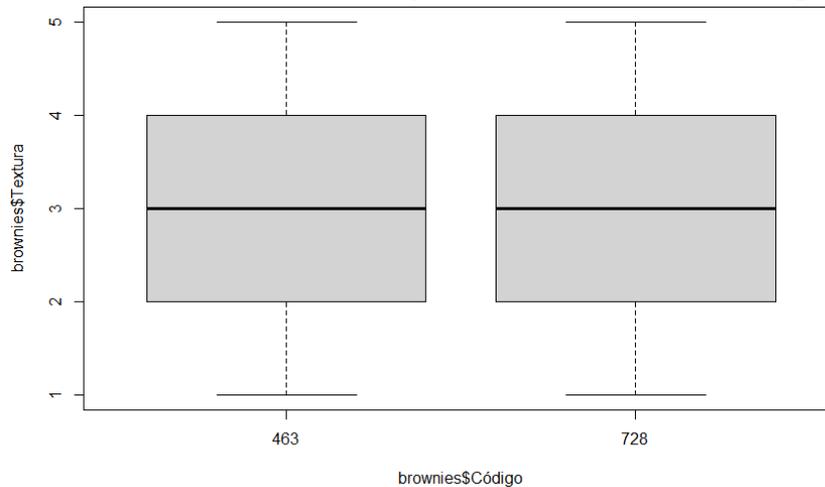
$H_1 = \mu_i \neq 0$  no son iguales las medias

$\alpha = 0.05$

criterio de rechazo: probabilidad < valor de alfa, se rechaza hipótesis nula.

R//  $F_{ob} = 0.0541 > \alpha = 0.0500$  por lo tanto no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula. No hay diferencia significativa en cuanto a la textura de la muestra.

Figura 53 Diagrama de caja y bigotes para el atributo Textura en las muestras 463 elaborada con harina de cebada malteada y 728 elaborada con harina de trigo.



En el diagrama de caja y bigotes para la textura no se observa diferencia entre las dos muestras, siendo su aceptación ni me gusta ni me disgusta.

Welch Two Sample t-test

data: brownies\$Textura by brownies\$Código

$t = -1.943$ ,  $df = 137.39$ ,  $p\text{-value} = 0.05407$

alternative hypothesis: true difference in means between group 463 and group 728 is not equal to 0.

95 percent confidence interval:

-0.893561719 0.007847433

sample estimates:

mean in group 463 mean in group 728.

2.685714 3.128571

**En conclusión:** en cuanto a la aceptación del Textura con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , siendo  $F_{ob} = 0.0541 > \alpha = 0.05$  no se observa diferencia significativa. Y su nivel de aceptación se encuentra en un 2.6857 para la muestra 463 elaborada a partir de cebada malteada y 3.12 para la muestra 728 elaborada con harina de trigo.

Cuadro 74 Análisis de varianza de un factor por medio de R Studio y diferencia de medias en la determinación de aceptación de las distintas variables.

<b>Variable</b>	<b>Valor P</b>	<b>Hipótesis nula (H0)</b>	<b>Conclusión</b>
Aspecto general	0.881	Aceptada	No hay diferencia significativa.
Apariencia	5.379e-5	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
Color	0.1651	Aceptada	No hay diferencia significativa.
Olor	8.753e-10	Rechazada	Sí hay diferencia significativa.
Sabor	0.096	Aceptada	No hay diferencia significativa.
Textura	0.054	Aceptada	No hay diferencia significativa.

Se utilizó valor-p (0.05) como criterio de rechazo de hipótesis nula (son iguales).

Cuadro 75 Resumen de nivel promedio de aceptación de cada atributo.

<b>Atributo</b>	General	Apariencia	Color	Olor	Sabor	Textura
Harina de cebada malteada	3.31	3.11	3.96	4.14	3.37	2.69
Harina de trigo	3.29	3.90	4.19	2.89	3.03	3.13

Se utilizó una escala hedónica de 5 puntos.