



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO DE MALTAS DE
TRITICALE (X. *Triticosecale* Wittmack) SOBRE SUS
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

**PRESENTA:
IAI. DIEGO GIRÓN OROZCO**

El Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, Estado de México, Diciembre de 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

**MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
RECURSOS NATURALES**

**EFFECTO DE LA TEMPERATURA DE SECADO DE MALTAS DE
TRITICALE (X. *Triticosecale* Wittmack) SOBRE SUS
CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES**

PRESENTA:

IAI. DIEGO GIRÓN OROZCO

COMITÉ DE TUTORES:

Dra. María Dolores Mariezcurrena Berasain. Tutor académico
Dra. Dora Luz Pinzón Martínez. Tutor adjunto
Dra. Ana Tarín Gutiérrez Ibáñez. Tutor adjunto

DICIEMBRE 2019

Campus universitario "El Cerrillo Piedras Blancas", Toluca, Estado de México.

RESUMEN

La presente investigación se basó en el uso del Triticale (*X. Triticosecale* Wittmack) variedad Bicentenario para obtener una malta cervecera base secada a 70 °C y dos oscuras secadas a 80 °C y 90 °C respectivamente, con el objetivo de evaluar el efecto de la temperatura sobre las características fisicoquímicas de las maltas. Se obtuvieron maltas base de cebada, trigo y centeno con la finalidad de observar si las características fisicoquímicas de la malta de triticale tendían a las de cebada y quien entre trigo y centeno mostraba mayor tendencia hacia el triticale. Los resultados mostraron que la temperatura en las maltas de triticale tuvo efecto negativo sobre las principales variables de importancia económica, en las cuales los valores se redujeron y se alejaron de los valores óptimos, el poder diastásico de 140.33 °L (70 °C) a 54 °L (90 °C), porcentaje de extracto de malta de 93.46% (70°C) a 88.33% (90°C), porcentaje de extracto fermentable de 74.40% (70 °C) a 41.90% (90 °C), cabe mencionar que en el caso de la malta secada a 80 °C (108.00 °L) solo poder diastásico se conservó dentro de los valores de una malta base, mientras que las otras variables mencionadas se alejaron del valor óptimo a 80 °C. Con respecto a la cebada se observó que las variables con mayor tendencia fueron, porcentaje de extracto de malta, poder diastásico, pH y proteína soluble, mientras que otras, principalmente viscosidad, porcentaje de extracto fermentable y porcentaje de proteína se alejaron hasta valores fuera de rango óptimo. En lo que respecta a trigo y centeno, el trigo mostró mayor tendencia en la mayoría de las variables, las cuales fueron, porcentaje de proteína, porcentaje de extracto de malta, poder diastásico, porcentaje de extracto fermentable y % de proteína soluble, mientras que centeno solo tuvo tendencia en pH y Viscosidad.

ABSTRACT

The present investigation was based on the use of Triticale (X. Triticosecale sp. Wittmack ex. A. Camus 1927) Bicentennial variety to obtain a clear beer malt dried at 70°C and two dark ones dried at 80°C and 90°C respectively , with the objective of evaluating the effect of temperature on the physicochemical characteristics of malts. Clear malts of barley, wheat and rye were obtained in order to observe whether the physicochemical characteristics of triticale malt tended to those of barley and who between wheat and rye showed a greater tendency towards triticale. The results showed that the temperature in triticale malts had a negative effect on the main variables of economic importance, in which the values were reduced and moved away from the optimal values, the diastatic power of 140.33 ° L (70°C) at 54 ° L (90°C), percentage of malt extract from 93.46% (70°C) to 88.33% (90°C), percentage of fermentable extract from 74.40% (70°C) at 41.90% (90°C) , it should be mentioned that in the case of dried malt at 80 ° C (108.00 ° L) only diastatic power was retained within the values of a clear malt, while the other mentioned variables moved away from the optimal value at 80 ° C . With respect to barley, it was observed that the variables with the highest tendency were, percentage of malt extract, diastatic power, pH and soluble protein, while others, mainly viscosity, percentage of fermentable extract and percentage of protein moved away to values outside of optimal range With regard to wheat and rye, wheat showed a greater tendency in most of the variables, which were, percentage of protein, percentage of malt extract, diastatic power, percentage of fermentable extract and% of soluble protein, while Rye only had a tendency in pH and Viscosity.

AGRADECIMIENTOS

A mi comité de tutores. Por su paciencia, enseñanzas, consejos, pero sobre todo por su amistad.

Dra. María Dolores Mariezcurrena Berasain

Dra. Dora Luz Pinzón Martínez

Dra. Ana Tarin Gutiérrez Ibáñez

También al Dr. Erick Heredia Olea

Agradezco por tener siempre.

A mis padres y hermanos.

A mis seres queridos y amigos.

A Silver, donde quiera que estés.

CONTENIDO

DEDICATORIAS	¡Error! Marcador no definido.
AGRADECIMIENTOS	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE GRAFICAS	x
LISTA DE CUADROS	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1. Proceso cervecero y sus diferentes etapas	6
2.2. Malteado y Malta, la materia prima del proceso cervecero	8
2.2.1. Proceso de malteado y los procesos bioquímicos implicados.....	10
2.2.1.1. Remojo	10
2.2.1.2. Germinación	11
2.2.1.3. Secado	13
2.3. Tipos de maltas	15
2.3.1. Maltas Base (Maltas diastásicas)	16
2.3.2. Maltas Oscuras (Maltas no diastásicas)	16
2.3.3. Maltas negras o tostadas.....	17
2.4. Análisis de calidad de la malta cervecera	18
2.4.1. Humedad.....	19

2.4.2. Extracto de malta	19
2.4.3. Extracto fermentable	20
2.4.4. Poder diastásico	20
2.4.5. Harinosidad	21
2.4.6. Proteína de la malta	22
2.4.7. Proteína soluble	22
2.4.8. Viscosidad	23
2.5. La industria de la cerveza en México	23
2.6. Producción de cereales	24
2.6.1. Producción mundial	24
2.6.2. Producción nacional de triticale, trigo, centeno y cebada	24
2.7. Triticale (X. <i>Triticosecale</i> Wittmack).....	25
2.7.1. Generalidades del triticale	25
2.7.2. Composición química de triticale	26
2.7.2.1. Almidón	28
2.7.2.2. Proteína.....	28
2.7.2.3. Lípidos.....	30
2.7.2.4. Enzimas	30
2.8. Usos del triticale	31
2.8.1. Alimentos y bebidas	32
2.8.1.1 Malta cervecera	32
2.8.1.2. Panificación	34
2.8.1.3. Galletas y tortillas	35

2.8.2 Otros Usos	36
2.8.2.1. Bioetanol	36
2.8.2.2. Películas biodegradables para alimentación	37
2.9. Uso cervecero de triticale y malta de triticale	38
2.9.1. Uso de triticale, trigo y centeno como adjuntos en cervecería	43
2.9.2. Antecedentes importantes sobre el efecto de la temperatura de secado en las características de calidad de maltas	45
III. JUSTIFICACIÓN	48
IV. HIPÓTESIS	50
V. OBJETIVOS	51
6.1. OBJETIVO GENERAL.....	51
6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	51
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	52
6.1. Lugar de estudio.....	52
6.2. Materiales.....	52
6.3. Metodologías.....	53
6.4. Fase 1. Caracterización de los granos y malteo	53
6.4.1. Humedad del grano (%)	53
6.4.2. Proteína del grano (%)	54
6.4.3. Germinación del grano (%).....	55
6.5. Malteado	56
6.5.1. Lavado y desinfección de los granos	56
6.5.2. Remojo de los granos.....	57

6.5.3. Germinación	58
6.5.4. Secado	58
6.6. Fase 2. Análisis fisicoquímicos de calidad maltera	60
6.6.1. Humedad de malta (%).....	60
6.6.2. Harinosidad de malta (%)	61
6.6.3. Proteína de malta (%).....	62
6.6.4. Extracto de malta (%)	62
6.6.5. Poder diastásico	64
6.6.6. pH del mosto	66
6.6.7. Extracto fermentable por la levadura	67
6.6.8. Proteína soluble del mosto	68
6.6.9. Viscosidad del mosto.....	69
6.7. Análisis estadístico	70
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
7.1. Caracterización de los granos	72
7.2. Caracterización de las maltas	73
7.2.1. Humedad de malta (%).....	73
7.2.2. Harinosidad de malta (%)	74
7.2.3. Proteína de malta (%)	76
7.2.4. Proteína soluble del mosto (%).....	77
7.2.5. Extracto de malta (%).....	80
7.2.6. pH del mosto	82
7.2.7. Poder diastásico.....	84

7.2.8. Extracto fermentable por la levadura (%)	86
7.2.9. Viscosidad del mosto	88
VIII. CONCLUSIONES GENERALES	92
IX. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES	94
X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95
XI. CARTA DE ENVÍO DE ARTÍCULO CIENTÍFICO ENVIADO A LA REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA QUÍMICA	105
11.1. Artículo enviado a la revista mexicana de ingeniería química	106

LISTA DE FIGURAS

Figura No. 1. Proceso cervecero tradicional (Guerra et al., 2009).	7
Figura No. 2. Proceso de malteo (Cerveart, 2018).....	9
Figura No. 3. Equipo de germinación utilizado en la industria de malteo (MacLeod y Evans, 2016).	13
Figura No. 4. Sistema industrial de secado de malta (MacLeod y Evans, 2016)..	15
Figura No. 5. Determinación de proteína mediante método Kjeldahl.	55
Figura No. 6. Determinación de porcentaje de germinación.	56
Figura No. 7. Remojo de los granos con agua destilada.....	57
Figura No. 8. Germinación de los granos en domos de plástico.	58
Figura No. 9. Secado en estufa con circulación de aire caliente.	60
Figura No. 10. Determinación de harinosidad de la malta.....	61
Figura No. 11. Determinación del extracto de las maltas.	64
Figura No. 12. Determinación del poder diastásico de las maltas.....	66
Figura No. 13. Determinación del pH de los mostos elaborados con las maltas. .	67
Figura No. 14. Determinación de la proteína soluble de los mostos elaborados con las maltas.	69

LISTA DE GRAFICAS

Gráfica No. 1. Porcentaje de humedad de maltas base y oscuras.	74
Gráfica No. 2. Porcentaje de harinosidad de maltas base y oscuras.	75
Gráfica No. 3. Porcentaje de proteína soluble de maltas base y oscuras.	79
Gráfica No. 4. Porcentaje de extracto de maltas base y oscuras.	82
Gráfica No. 5. pH del mosto de maltas base y oscuras.	84
Gráfica No. 6. Poder diastásico de maltas base y oscuras.	86
Gráfica No. 7. Porcentaje de extracto fermentable por la levadura de maltas base y oscuras.	88
Gráfica No. 8. Viscosidad de maltas base y oscuras.	90

LISTA DE CUADROS

Cuadro No. 1. Análisis de calidad de maltas base de 3 genotipos de triticale Grujic y Pejin, (2007).	39
Cuadro No. 2. Tratamientos aplicados para la obtención de las maltas.	59
Cuadro No. 3. Análisis previos a los cereales.....	73
Cuadro No. 4. Análisis fisicoquímicos de las maltas base y oscuras.	91

I. INTRODUCCIÓN

La malta es un producto alimenticio natural producida por el malteo de cereales, principalmente cebada. Los pasos del malteo son, remojo, germinación y secado. El secado puede modificarse para producir diferentes tipos de malta (Base o diastásicas, Oscuras o no diastásicas, ò Especiales). Para que un grano de cereal se convierta en malta este debe cumplir con determinados parámetros de calidad, según el instituto de investigación de la cervecería y malteo (BMBRI) de Winnipeg, Canadá. una cebada con características de calidad superior, presenta: Pureza varietal sin evidencias de pre-germinación, porcentaje de germinación de 96.0%, porcentaje de proteína de 11-12.5% en base seca, contenido máximo de humedad de 13.0%, tamaño de grano uniforme libre de enfermedades, micotoxinas, residuos químicos, daños por frío o condiciones ambientales, menos del 5.0% de granos rotos o desnudos, libre de insectos, tizón y olores extraños, entre otros (Stewart, 2013; Arias, 1991; Figueroa, 1985). La malta de cebada es la más común y su uso principal es como materia prima para la elaboración de cerveza, ya que proporciona sustratos y enzimas apropiadas para obtener un buen mosto cervecero (Hough, 1990; Edney y Izydorczyk, 2003). En el proceso de malteado, la germinación permite el crecimiento del embrión, y se desarrollan las enzimas (proteasas y amilasas) que solubilizan las reservas del grano. A la cantidad de sustancias solubilizadas se le llama extracto, y es un parámetro de calidad importante que se usa para predecir la cantidad de cerveza que la malta podrá producir (Reyna *et al.*, 2004; Edney y

Izydorczyk, 2003). El secado, es el paso final del malteo y convencionalmente se hace con aire caliente, este detiene el crecimiento del embrión y la transformación de las reservas del grano, mediante la eliminación de la mayor cantidad de agua de los granos germinados hasta una humedad próxima del 5.0%. Los tiempos y temperaturas del secado son especialmente importantes ya que determinan la cantidad final de enzimas de la malta, mientras la temperatura de secado sea más alta (>80 °C) la cantidad de enzimas activas en la malta será menor. Generalmente las maltas base (diastásicas) se secan a temperaturas entre 50-70 °C y las oscuras (no diastásicas) entre 80-100 °C. La forma de realizar el secado es tan variada como los tipos de malta que se obtienen. Además, el secado permite que la malta adquiera su sabor, color, aroma y humedad necesarios para poder ser almacenada, estas características determinaran que tipo de cerveza se elaborará con cada malta (García, 1965; Gisbert, 2016; Edney y Izydorczyk, 2003; Anderson, 2000; Gebremariam *et al.*, 2012). Existen otros cereales que por tradición y por razones prácticas se utilizan para la obtención de maltas comerciales, llamadas “Non Barley Malts”, estas provienen del trigo, centeno, sorgo, avena y triticale (Edney y Izydorczyk, 2003; Hough, 1990). De las distintas variedades de malta cervecera, la más vendida comercialmente es la Pilsner, y se toma de referencia para la evaluación de la calidad de las demás. Para analizar las maltas se consideran diferentes análisis, sensoriales (color, olor y aspecto de corte), análisis físicos (peso hectolitrico, peso de mil granos y clasificación por zarandas) y químicos (extracto de malta, poder diastásico y atenuación final, entre otros) (Arias, 1991).

Triticale (X. *Triticosecale* Wittmack) es un cereal antropogénico creado para incorporar la funcionalidad y alto rendimiento del trigo (*Triticum* spp. Linnaeus 1753) y la durabilidad del centeno (*Secale cereale* Linnaeus 1753). Los usos del Triticale están influenciados por su composición química que al parecer es más semejante al trigo que al centeno. El principal uso de triticale ha sido como alimento para ganado y algunas investigaciones se han orientado a su uso en panificación, materia prima para elaboración de biocombustible, maltería y cervecería (McGoverin *et al.*, 2011; Varughese *et al.*, 1996; Peña, 2004; Pejin *et al.*, 2010). El triticale ha presentado características cerveceras superiores a sus progenitores (trigo y centeno) y a la cebada, entre las que destacan, mayor poder diastásico, mayor extracto de malta que trigo y centeno, aunque menor que cebada y un menor tiempo de remojo que cebada, lo cual presenta ventajas cerveceras a nivel industrial (Lersrutaiyotin *et al.*, 1991). Se caracteriza por su facilidad para producir altos niveles de actividad de α y β -amilasa (poder diastásico) que es una característica positiva ya que permite su buen desempeño durante el malteado y su uso en cervecería. El triticale se ha evaluado como adjunto de malta de cebada en la elaboración de mostos cerveceros, con resultados superiores en comparación con otros adjuntos como arroz y maíz, mejorando parámetros fisicoquímicos como, capacidad de solubilización del almidón e incremento en los niveles de aminoácidos lo que ayuda a mejorar la capacidad de fermentación de los mostos. Así se ha demostrado que triticale puede sustituir desde 25% a 70% a la malta de cebada obteniendo propiedades fisicoquímicas adecuadas para la elaboración de mostos

cerveceros (Glattar *et al.*, 2003; Pejin *et al.*, 2013). Los estudios más recientes en malta de triticale se han orientado a la utilización de malta base (diastásica) de triticale en combinación con malta de cebada en la producción de mostos cerveceros y al análisis de sus características fisicoquímicas, en donde se ha encontrado que la malta de triticale puede sustituir 30.0-70.0% a la malta de cebada mejorando o conservando los parámetros comerciales más importantes tales como, extracto fermentable y actividad amilolítica. Estos estudios han concluido que las variedades y líneas experimentales modernas de triticale son aptas para la producción de malta y que la malta de triticale podría ser usada en cervecería a nivel industrial (Grujic y Pejin, 2007; Guzmán-Ortíz *et al.*, 2018). Es importante mencionar que triticale se ha evaluado como malta base, y no existen reportes de maltas de triticale oscuras y del efecto de un aumento en la temperatura de secado sobre sus características fisicoquímicas. Por su parte recientemente trigo y centeno se han evaluado como granos sin maltear para uso en cervecería y se encontraron viables en combinación con preparados enzimáticos para el aprovechamiento de las reservas del grano (Zhuang *et al.*, 2017). Por lo que, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar las propiedades fisicoquímicas de maltas base (diastásicas) de triticale, trigo, centeno y cebada secadas a 70 °C para determinar si triticale se comportaba similar a la cebada y quien entre trigo y centeno estaría aportando tales propiedades fisicoquímicas a triticale. Se evaluaron dos temperaturas más 80 °C y 90 °C en triticale (maltas oscuras) para observar el efecto de la temperatura sobre las características fisicoquímicas. Los resultados mostraron

que el triticale tuvo valores significativamente menores ($P \geq 0.05$) respecto a cebada para variables fisicoquímicas importantes que determinan el valor económico de una malta, tales como extracto de malta y extracto fermentable, mientras que el poder diastásico fue significativamente mayor. Respecto a trigo y centeno, el triticale mostro tendencia a trigo en las variables antes descritas. En lo referente a la temperatura de secado, se observó que el aumento de la temperatura provoco descensos dichas variables, principalmente en el poder diastásico lo cual podría demeritar el valor comercial de la malta.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Proceso cervecero y sus diferentes etapas

El proceso cervecero tradicional comienza con el malteado del grano de cebada, que es el cereal más utilizado para la producción de cerveza, aunque también hay cervezas hechas de trigo (*Triticum* spp.), arroz (*Oryza sativa*), avena (*Avena sativa*), centeno (*Secale cereale*), maíz (*Zea mayz*), sorgo (*Sorghum*) y triticale (*X. Triticosecale* Wittmack), entre otros. La elaboración de cerveza es uno de los mejores ejemplos del importante papel de las enzimas de los cereales en la elaboración de alimentos y bebidas tradicionales (Figura. No. 1). El malteado es el proceso por el cual los granos de cebada se ponen en remojo hasta que estos adquieren un grado de humedad determinado (45.0%), que provoca la germinación, cuando el grano ha germinado contiene enzimas esenciales llamadas amilasas o diastasas (α -amilasa, β -amilasa, α -glucosidasa y dextrinasa límite). Las cuales, transformarán el almidón del grano en azúcares que serán transformados por la levadura en etanol y CO₂, en la maceración. Puesto que la levadura *Saccharomyces cerevisiae* es incapaz de utilizar directamente la molécula de almidón como fuente de carbono es necesaria la hidrólisis previa del almidón en azúcares más pequeños, preferiblemente como las moléculas monoméricas (glucosa) y diméricas (maltosa). Lo mismo ocurre con las proteínas presentes en los cereales, ya que deben ser hidrolizados a aminoácidos para ser utilizados por la levadura como fuentes de nitrógeno. De acuerdo con esto, el primer paso en la elaboración de la cerveza es

la obtención de la malta y está dirigido a permitir la hidrólisis tanto del almidón como de las proteínas, por medio de la germinación del grano y la acción de las enzimas amilasas y proteasas del cereal (Guerra *et al.*, 2009; Hough, 1990; Stewart, 2013).

Una vez germinada la cebada, debe almacenarse, por esta razón se somete a un proceso de secado a determinadas temperaturas, este es un paso crítico porque un tratamiento de calentamiento intensivo puede provocar la desactivación de las enzimas, sin embargo, si se hace adecuadamente, permite la estabilización de la malta deteniendo las reacciones enzimáticas e inhibe el crecimiento microbiano no deseado al disminuir la actividad del agua. Esta malta todavía no es fácilmente fermentable por la levadura *Saccharomyces cerevisiae*. La hidrólisis debe continuar en la siguiente etapa de preparación que es el macerado (Guerra *et al.*, 2009).

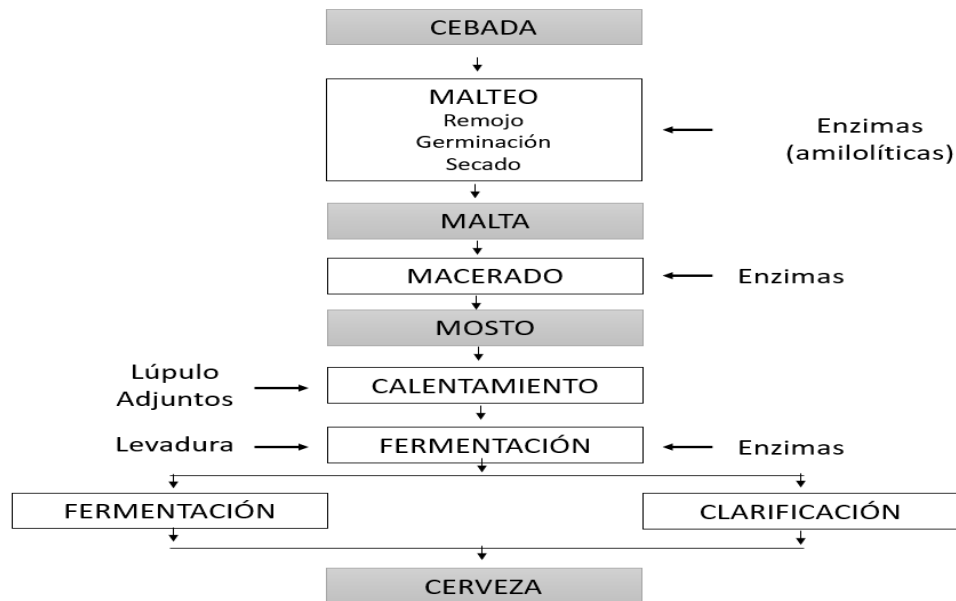


Figura No. 1. Proceso cervecero tradicional (Guerra *et al.*, 2009).

El siguiente paso es la maceración, se realiza para obtener el mosto. Comienza moliendo y mezclando la malta con agua caliente en proporciones de 3:1 y 4:1. La hidrólisis del almidón y proteínas debe completarse en esta etapa mediante la continuación de la acción enzimática, que comenzó durante la germinación, para permitir la fermentación posterior. El tipo de macerado más común es el de infusión, en el que se mantiene la temperatura de la mezcla de harina con agua a 65°C, por dos horas a un pH de 5.2. Mismo que termina por elevar la temperatura a 75–80 °C para inactivar las enzimas y posteriormente se filtra para eliminar los sólidos residuales. El mosto resultante está enriquecido en compuestos de bajo peso molecular, principalmente maltosa, glucosa y aminoácidos, y también en dextrinas de almidón que no fueron hidrolizadas por las amilasas endógenas. El actual mosto debe llevarse a ebullición, en esta etapa se añaden los lúpulos y se solubilizan las resinas que dan amargor y fragancia a la cerveza. Después de que se ha hervido el mosto, es necesario filtrarlo y enfriarlo hasta 25 °C para añadir la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, e iniciar la fermentación. Las levaduras convertirán la maltosa en etanol y CO₂ en ausencia de oxígeno, posteriormente el mosto fermentado se someterá a un proceso de maduración y/o clarificación para obtener el producto final que es la cerveza (Guerra *et al.*, 2009; Hough, 1990).

2.2. Malteado y Malta, la materia prima del proceso cervecero

El término malteado es usado para referirse a la preparación de una materia prima, del proceso cervecero, la malta. La cual, está constituida por granos de cereales, generalmente de cebada, germinados por un periodo de tiempo determinado y luego

secados (Hough, 1990). El proceso de malteado (Figura No. 2), por el cual se obtiene la malta, consiste en el remojo y germinación controlada de la cebada. Durante dicho proceso hay formación de enzimas amilolíticas (α -amilasa, β -amilasa, α -glucosidasa y dextrinasa límite) y proteolíticas, mismas que conducen la modificación no completa del almidón, para que este proceso pueda completarse durante la maceración. El producto final del malteado, la malta, es físicamente parecido a la cebada original, pero fácilmente quebradiza al triturarse (Reyna *et al.*, 2004; MacLeod y Evans, 2016; Stewart, 2013).



Figura No. 2. Proceso de malteo (Cerveart, 2018).

En la actualidad, la malta se utiliza principalmente en cervecería; asimismo, se utiliza en destilería para la fabricación de whisky (Kunze, 2006).

Las cebadas de 2 y 6 hileras pueden utilizarse en la producción de malta, la de dos hileras es preferida por su alto contenido de almidón lo cual, dará mayor contenido de extracto de malta. En cambio, cuando se requiere mayor contenido de proteína y de poder enzimático se utiliza la de seis hileras. Estas deben tener una alta pureza varietal y viabilidad, deben estar libres de dormancia para que la germinación pueda ser uniforme y así, obtener un producto final homogéneo. Por lo cual se utilizan

variedades aprobadas por organizaciones certificadas. Las cuales, aseguran otros factores de calidad tales como tamaño y apariencia del grano, densidad del endospermo y contenido de extracto. Dichos factores afectan a la calidad de la malta (MacLeod y Evans, 2016; Lowe, *et al.*, 2004).

2.2.1. Proceso de malteado y los procesos bioquímicos implicados

El proceso de malteado consta de tres etapas cruciales, remojo, germinación y secado. El remojo tiene la finalidad de permitir que el grano se embeba en agua para que el embrión y el endospermo se hidraten y dar paso a la segunda etapa. En la germinación se sintetizan, activan y movilizan las enzimas hidrolíticas y el embrión comienza a desarrollarse. Posteriormente, en la tercera etapa se debe detener el desarrollo del grano mediante la aplicación de un secado o tratamiento térmico para llevarlo a un porcentaje de humedad bajo y estable para su correcto almacenamiento (MacLeod y Evans, 2016; Stewart, 2013).

2.2.1.1. Remojo

La cebada se cosecha y almacena aproximadamente con un contenido de humedad de 10.0-14.0%. Durante el periodo de remojo el grano de cebada se sumerge en agua para alcanzar un porcentaje de humedad de 42.0-47.0%. Lo que le permitirá germinar, además de lavarlo y eliminar restos de escombros y polvo. El remojo consta de 2-4 inmersiones en agua a temperatura controlada en tiempos de 1 a 2 días, cada una seguida de un periodo de aeración que permite que el embrión pueda respirar, además de distribuir uniformemente el agua a todo el grano. Los tanques

de remojo pueden ser de formas variadas, pero generalmente son cilindros cónicos o tanques de fondo plano, con una capacidad no mayor a 100 toneladas. Durante el remojo el embrión produce enzimas hidrolíticas (α -amilasa, β -amilasa, α -glucosidasa, dextrinasa límite y proteolíticas). La hidratación del escutelo y la capa de aleurona inicia con la producción de giberelinas para que se produzca la catálisis enzimática que hidrolizara el almidón. El grano debe mostrar evidencias visibles de brotación de raicillas y plúmula. Si los granos germinados de un muestreo de la cebada remojada dan un alto índice de brotación, la cebada esta lista para pasar a la siguiente etapa (MacLeod y Evans, 2016; Figueroa, 1985).

2.2.1.2. Germinación

Los granos de cebada remojados se transfieren a tanques de germinación especiales (Figura No. 3), equipados con sistemas neumáticos de varias formas y tamaños que sirven para proporcionar aireación a los granos, y Así evitar que la temperatura en el tanque aumente y provoque fallos. Los sistemas neumáticos pueden ser de tambores, cajas rectangulares salteadas o vasos mecánicos de germinación, mediante estos sistemas neumáticos se hace circular aire humidificado a temperatura controlada a través de la cama de granos de cebada. El propósito de la germinación es continuar y asegurar el desarrollo óptimo de las enzimas hidrolíticas, para que se complete la degradación del almidón y de las proteínas del grano. El almidón es la molécula de almacenamiento de azúcar en las plantas y principal componente de los cereales y tubérculos y se puede definir como la mezcla

de dos polímeros de glucosa llamados amilosa y amilopectina; amilosa, una molécula lineal de D-glucosa unida por enlaces α -1,4-glucosídicos; amilopectina: una molécula ramificada de residuos de α -1,4-glucosídicos y enlaces de α -1,6-glucosídicos en los puntos de ramificación. En la etapa de germinación (3 a 5 días) se debe procurar la humedad del grano no mayor a 45.0% para el crecimiento de raicillas y plúmula. Que debe indicarse que al día 2 la humedad del grano deberá ser de al menos 42.0% y para el día 4 ó 5 debe ser reducida de 38-40%, para no provocar un ahogamiento al embrión. Durante el tiempo de germinación el escutelo y la capa de aleurona del grano responden a la estimulación de hormonas de crecimiento como las giberelinas, ácido indoleacético y ácido abscísico. Debido a esto las enzimas que se sintetizan son α -amilasa, β -amilasa, α -glucosidasa, dextrinasa límite, β -glucanasa xylanasa, lipasa, endoproteinasas y exoproteinasas. Estas enzimas son liberadas y se movilizan a través del endospermo hidratado, degradando el almidón y la matriz proteica, a este proceso se le conoce como modificación del grano. Al final de la etapa de germinación el almidón deberá estar degradado casi en su totalidad y las proteínas en 40.0-50.0%. Además de que contendrá un alto nivel acumulado de enzimas activas, hasta este punto la cebada germinada se denomina “malta verde” (MacLeod y Evans, 2016; Figueroa, 1985).

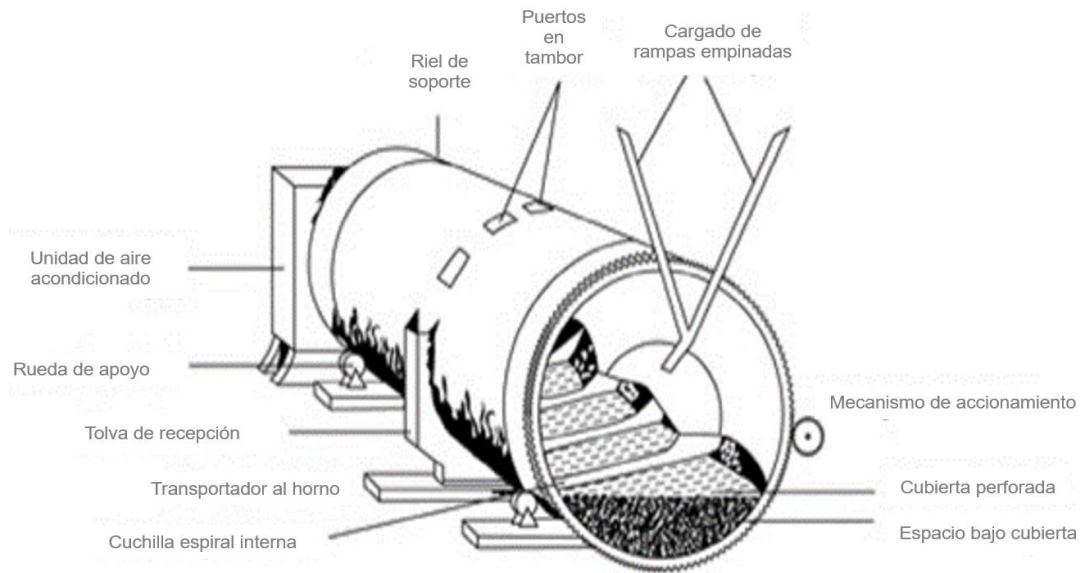


Figura No. 3. Equipo de germinación utilizado en la industria de malteo (MacLeod y Evans, 2016).

2.2.1.3. Secado

En el proceso de obtención de una malta cervecera, el secado es de vital importancia, generalmente se entiende por secado a la eliminación total o parcial del agua de la sustancia que la contiene (Fito *et al.*, 2016). La etapa de secado (Figura No. 4) consiste en la eliminación paulatina del exceso de humedad (agua) contenido en la malta verde, de aproximadamente 40.0%, hasta 4.0%-5.0%, usualmente en un periodo de tiempo de 24 h. El secado se lleva a cabo en hornos de aire caliente. Los hornos que se emplean para el secado de la malta responden a diversos tipos, los más difundidos son los desecadores horizontales de suelo basculante que permiten la descarga de un nivel a otro, están provistos de parrillas que se disponen en pisos, siendo el más clásico el de dos pisos. La calefacción de

la malta se puede hacer directamente con gases de combustión o indirectamente calentando con estos el aire de desecación. Existen hornos verticales en los que la malta se dispone en capas de 20 cm de espesor y se hace pasar aire caliente por ambos lados de la capa (Lewis y Young, 2012). De acuerdo con Fito *et al.* (2016), los secadores horizontales se pueden clasificar como secadores de tipo directos o convectivos, ya que utilizan gases calientes en contacto con el sólido húmedo para suministrar el calor y arrastrar el líquido vaporizado. El aire caliente circula a través del lecho de malta verde, bajo condiciones de temperatura controladas. La temperatura del flujo de aire se incrementa gradualmente, al mismo tiempo que la temperatura del grano, lo que provoca que el agua contenida en el interior del grano se difunda hacia la superficie y pueda ser removida por el mismo flujo de aire. Típicamente existen tres fases en la eliminación de la humedad en el secado tradicional. La primera se denomina “fase libre de secado” en esta fase las temperaturas van de 50.0-60.0 °C por varias horas. La humedad es eliminada con facilidad hasta un 25.0% aproximadamente. La segunda fase se llama “fase intermedia”, en la cual se somete a los granos a un sobrecalentamiento por varias horas, la temperatura en esta fase se incrementa lentamente hasta unos 80 °C y la humedad decrece hasta aproximadamente 12.0%. La tercera fase se llama “fase de agua ligada o fase de curado”, en esta fase las temperaturas son de más de 80 °C y la humedad de la malta decrece hasta 4.0-5.0%. El cuidado en el control de la temperatura y el tiempo es esencial para asegurar una mínima desnaturalización de las enzimas. El secado tiene la finalidad de detener el desarrollo y modificación del

endospermo, preservar las enzimas y desarrollar las características propias de color, aroma, sabor, asegurando un producto estable para el almacenamiento y transporte. Una vez secada la malta tendrá una consistencia harinosa y podrá ser fácilmente procesada en la molienda (Lewis y Young, 2012; MacLeod y Evans, 2016).

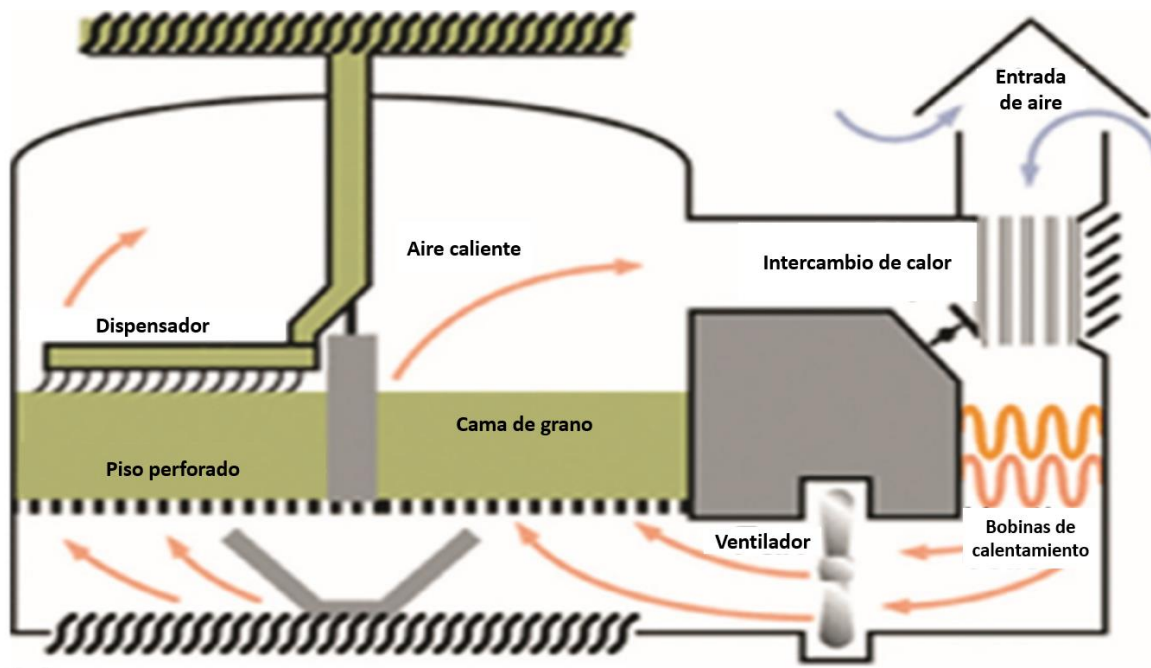


Figura No. 4. Sistema industrial de secado de malta (MacLeod y Evans, 2016).

2.3. Tipos de maltas

El secado y las condiciones en las que este se lleve a cabo definirán el carácter final de la malta. Por lo cual, se debe poner especial atención en la duración de cada una

de las etapas, temperatura y el nivel de humedad. Las maltas por secado tradicional se pueden clasificar en:

2.3.1. Maltas Base (Maltas diastásicas)

Las maltas base o también denominadas “diastásicas” son el tipo más común de malta y son el ingrediente principal en las cervezas *lager light* que son tan populares en todo el mundo. Estas cervezas requieren una malta con extracto máximo y buen potencial enzimático, pero con un desarrollo limitado de color y sabor. Esta malta se puede combinar con otros tipos de malta (oscuras) para obtener variantes estilos de cervezas, debido a su gran poder enzimático que contribuye a la degradación del almidón de las otras maltas. Las maltas base generalmente están hechas de cebada de dos filas o de seis filas con alto contenido proteico y son secadas con temperaturas de secado que no sobrepasan los 70 °C. Lo anterior es para garantizar un buen poder diastásico (refiriéndose al contenido enzimático de la malta) y niveles adecuados de aminoácidos para la nutrición de la levadura (MacLeod y Evans, 2016; O’Rourke, 2002).

2.3.2. Maltas Oscuras (Maltas no diastásicas)

En esta categoría se incluyen maltas como la Vienna y Munich, comúnmente utilizadas en cervezas Ale oscuras, completamente fermentadas. Se diferencia de la malta base, porque brindan a la cerveza sabores fuertes y acentuados además de poseer menor poder enzimático. Estas maltas se pueden obtener de las maltas lager, mediante la aplicación de un curado con temperaturas secado entre 90-110

°C. Lo cual origina colores que van de claros (4 °EBC) a oscuros (27 °EBC). La malta Vienna es usada principalmente como ingrediente de cervezas cobrizas con ligeras notas de sabor café, esta malta se cura a 90 °C. La malta Munich es una malta caracterizada por poseer aromas acentuados a café y un color más oscuro, es usada en cervezas negras aromáticas. De esta malta se obtienen cervezas más oscuras y de sabores más acentuados que las cervezas de malta Vienna. La temperatura de curado de esta malta es de 100-105 °C (MacLeod y Evans, 2016; Stewart, 2013).

2.3.3. Maltas negras o tostadas

En esta categoría se incluyen maltas como la Brown, Amber, Chocolate y Black. Las maltas Brown y Amber son maltas especiales de color oscuro que tienen poca o ninguna actividad enzimática. Se usan en pequeñas proporciones para aumentar el color de la cerveza y agregar un sabor a galleta a las cervezas stout y a las cervezas de fermentación superior. Las maltas Brown se elaboran tostando maltas verdes de baja humedad. Se tuestan a temperaturas de 130 C. Por su parte, las maltas Amber comienzan con una malta de tipo base (Laguer) y se tuestan a temperaturas de 100–150 °C, dependiendo del color deseado. La malta Amber es el más popular de los dos tipos. Las maltas Chocolate y Negras son maltas muy coloreadas que dan colores fuertes y sabores particulares a la cerveza. Se usan habitualmente en cerveza negras, donde aportan un sabor descrito como seco, quemado y astringente. Estas maltas comienzan con una malta base que ha sido horneada a

bajas temperaturas hasta una humedad del 4% a 6%. La cual se transfiere a un tostador donde las temperaturas se elevan a 215-220 °C para la malta Chocolate y Negra, respectivamente. Las principales diferencias entre las dos maltas es la duración del tostado con la malta Negra de color más oscuro que requieren tiempos más largos. En ambos casos, las altas temperaturas destruyen la totalidad de las enzimas (MacLeod y Evans, 2016; Stewart, 2013).

Depende de los tiempos y las temperaturas de secado que se empleen, el tipo de malta que se obtiene. Por lo tanto, se han desarrollado diferentes rampas de temperatura las cuales se puede modificar de acuerdo a las necesidades del fabricante. López *et al.* (2008), desarrollaron una rampa de temperatura para el secado de malta de cebada, de 4 escalones. Inició con 35 °C, 19 h; 45 °C, 24 h; 65 °C, 25 h; y finalmente descenso a 30 °C, 14 h. Para obtener una malta de cebada con capacidad enzimática y humedad de 3.0-6.0%.

2.4. Análisis de calidad de la malta cervecera

Hay diversos tipos de maltas cerveceras de acuerdo a diferentes procesos. La malta debe proporcionar un extracto fermentable de forma fácil y barata, también debe proporcionar cascarilla para formar un lecho filtrante para el mosto. La composición del mosto es un factor fundamental para el éxito de la fermentación por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* y juega un importante papel en el desarrollo del aroma, color y estabilidad de la cerveza, con la finalidad de obtener materias primas uniformes a un costo razonable, los cerveceros establecen especificaciones muy

precisas, estas dependen de métodos analíticos. El análisis de la malta cumple dos funciones, la primera estimar el valor que para el cervecero tiene y la segunda, constituir la base de las transacciones comerciales. Por eso, resulta fácil deducir lo que el cervecero necesita conocer cómo, humedad, proteína, extracto de malta, proteína soluble, poder diastásico (Actividad enzimática) y extracto fermentable por la levadura. Algunos autores estiman que los valores del extracto, poder diastásico, nitrógeno soluble, y la dureza de la malta constituyen los parámetros que más información proporcionan sobre la calidad de la malta (Hough, 1990; MacLeod y Evans, 2016; Arias, 1991).

2.4.1. Humedad

La importancia del porcentaje de humedad de la malta radica en los aspectos físicos de esta, principalmente el buen desempeño en la molienda, además de que un porcentaje adecuado provocará la estabilización de las enzimas activadas durante el malteo y el desempeño adecuado de estas durante la rehidratación de la malta en el macerado. El porcentaje de humedad de las maltas base (diastásicas) estándar esta entre 4.5% y 6.0% mientras que el de las maltas oscuras y tostadas está entre 3.0% y 4.0%. (Arias, 1991; O'Rourke, 2002)

2.4.2. Extracto de malta

Se puede definir como el porcentaje de sustancia seca de la malta que se disuelve en el mosto durante el macerado. Se compone de sustancias hidrolizadas derivadas de la actividad enzimática y está directamente relacionado con el rendimiento en

litros de mosto y con la cantidad de un determinado tipo de cerveza que un fabricante puede obtener. La sociedad alemana de la cebada cervecera clasifica el extracto molido fino de las maltas de acuerdo a la siguiente escala; > 82.0% muy bueno, 80.6%-82.0% bueno, 79.0%-80.5% aceptable, < 79.0% insuficiente (Briggs *et al.*, 2004; Arias, 1991).

2.4.3. Extracto fermentable

La proporción de extracto fermentable por la levadura *Saccharomyces cerevisiae* que se puede extraer de la malta, también llamada atenuación límite aparente AAL. El grado de atenuación o fermentación depende de la disponibilidad de azúcares fermentables en el mosto a los cuales puede acceder la levadura (Narzi, 1999; Briggs, 1998). Un porcentaje de extracto fermentable mayor a 82.0% se considera muy bueno, de 80.6%-82% bueno, de 79.1%-80.5% aceptable y menos de 79.1% insuficiente (Arias, 1991).

2.4.4. Poder diastásico

La actividad principal del malteado es provocar que los granos produzcan sus propias enzimas, estas enzimas son necesarias para modificar la estructura del grano. Las principales son las enzimas diastásicas quienes se encargan de la licuefacción del almidón y confieren el poder diastásico de cada grano (O'Rourke, 2002). Se llama poder diastásico a la actividad de todas las enzimas de descomposición de la cebada o cualquier otro grano, incluyendo α y β amilasa, α -glucosidasa, dextrinasa límite y maltasa, y es un parámetro sustancial de evaluación

de los agentes de descomposición del almidón. En la industria de la malta cervecera α y β amilasa son las enzimas diastásicas más importantes ya que de ellas depende más del 99.0% del poder diastásico de la malta. La α -amilasa no está presente en el grano de cebada y se produce durante la germinación. Cuando el grano alcanza un adecuado contenido de humedad, la α -amilasa hidroliza la molécula de almidón a azúcares simples como glucosa y maltosa. La β -amilasa está presente en el grano de cebada y es activada durante la germinación, para transformar el almidón en maltosa y dextrinas. Para ello requiere que la α -amilasa haya iniciado la transformación del almidón, con el propósito de asegurar el contenido de azúcares fermentables para la nutrición de la levadura en el proceso de macerado en cervecería, para de esta manera obtener el alcohol (Ghodsvali, 2009). El poder diastásico, se mide en grados Lintner ($^{\circ}$ L). Las maltas de cebada base presentan 100-125 $^{\circ}$ L. Generalmente, tienen mayor poder diastásico que las maltas de cebada Oscuras (35-40 $^{\circ}$ L) (O'Rourke, 2002).

2.4.5. Harinosidad

La harinosidad de la malta está relacionada con la harinosidad de la cebada, siempre se ha tenido en cuenta para la valoración económica de las maltas. Es un parámetro deseable e importante ya que permite el buen desempeño de la malta en la molienda y está relacionada con el porcentaje de extracto. Se determina mediante la clasificación de los granos harinosos, vítreos y semivítreos, de una muestra representativa de un lote de malta. Del cual, se espera obtener el mayor porcentaje

de granos harinosos, con la siguiente escala: Muy buena 81.0% -100.0%, buena 71.0%-80.0%, aceptable 65.0%-70.0%, insuficiente menos de 65.0%. (Arias, 1991)

2.4.6. Proteína de la malta

El porcentaje de proteína en la malta puede ser algo inferior al de la cebada, principalmente por la pérdida de las raicillas, generalmente es de 0.1-0.5%. El contenido óptimo de proteína en la malta debe estar entre 10.8-12.3%, ya que este contenido asegurará la disponibilidad de compuestos nitrogenados de bajo y mediano peso molecular que serán aprovechados por la levadura (Stewart, 2013; Figueroa, 1985)

2.4.7. Proteína soluble

Se habla de proteína soluble cuando se hace referencia a la proteína presente en el mosto, esta contiene los compuestos nitrogenados solubilizados. La proteína soluble en el mosto se expresa en mg/100 g de malta M.S. La importancia de la determinación de este parámetro de calidad radica en que, debe estar en concentraciones límites (4.9-5.6%). Fuera de este rango es insuficiente para la levadura, y si el nitrógeno soluble supera los límites especificados, puede aumentar la proporción de compuestos nitrogenados de alto peso molecular y esto tiene efectos negativos en la estabilidad y filtrabilidad del mosto (Arias, 1991).

2.4.8. Viscosidad

La viscosidad de la malta es determinada directamente en el mosto elaborado. Está influenciada por el contenido de sustancias como los β -glucanos y xilanos, carbohidratos estructurales que forman parte de la pared celular de los granos. El valor adecuado de viscosidad de los mostos en cebada debe ser menor o igual a 1.6 mPa·s. Valores superiores pueden provocar dificultades en el procesamiento del mosto y en pasos posteriores del proceso cervecero. Una elevada viscosidad representa un problema para los parámetros analíticos sobre todo en el pH de mosto, extracto, nitrógeno soluble, fermentación y en la filtración. Se ha sugerido que la alta viscosidad de mostos es debida a que el grano posee poca actividad de las enzimas que hidrolizan compuestos como los β -Glucanos (Grujic y Pejin, 2007; Grujic *et al.*, 2009; Pejin *et al.*, 2013).

2.5. La industria de la cerveza en México

La cerveza hecha en México se puede encontrar alrededor del mundo. Actualmente, de una lista de 125 países, México ocupa el séptimo lugar como productor, el primero como exportador, y el quinceavo como importador. En América Latina, México es el tercer país en consumo de esta bebida, 60 L *per cápita* al año. La producción de cerveza en México en 2018 creció un 8.8% con una producción de 119.80 millones de hectolitros, sobrepasando la expansión de 8.4% observada en 2014. Se exportaron 39.32 mil millones de hectolitros con un valor aproximado de 4,500 millones de dólares. El principal destino de las exportaciones de cerveza es

EE.UU. con 74%, de acuerdo a datos de Cerveceros de México, la industria genera 55 mil empleos directos y 2.5 millones de indirectos, además, apoya a uno de los sectores más importantes de nuestra economía: el sector primario en la producción de cebada, arroz y maíz. (Cerveceros de México, 2018).

2.6. Producción de cereales

2.6.1. Producción mundial

En 2017 la producción mundial de cereales como triticale, trigo, centeno y cebada se posicionó en millones de toneladas. La producción de triticale a nivel mundial fue aproximadamente de 14.70 millones de toneladas y los principales países productores son Polonia, Alemania, Belarus y Francia. Por su parte en el mismo año la producción mundial de trigo fue aproximadamente de 744 millones toneladas y los principales productores son China, Francia y Alemania. La producción mundial de centeno fue aproximadamente de 13 millones toneladas y los principales productores son Rusia, Alemania y Polonia y la producción mundial de cebada fue de 139.9 millones de toneladas y los principales productores son Rusia, Alemania y Francia. (FAOSTAT, 2018)

2.6.2. Producción nacional de triticale, trigo, centeno y cebada

En 2016 México tuvo una producción de triticale de 36, 381.13 toneladas y el principal productor es Estado de México con una participación de 26, 459.00 toneladas que representa el 73.0% de la producción, con un rendimiento de 3.13 t/ha. Otros estados que también participan en la producción son San Luis Potosí y

Tlaxcala. La producción nacional de trigo en el mismo año fue de aproximadamente 3, 862, 914.30 toneladas y los principales estados productores son Sonora, Sinaloa y Baja California con un rendimiento de 5.34 t/ha. La producción nacional de centeno en fue de aproximadamente 250.20 toneladas y los principales estados productores son Baja California y Tlaxcala con un rendimiento de 1.28 t/ha y la producción nacional de cebada fue de aproximadamente 978, 348.57 toneladas y los principales estados productores son Tlaxcala, Hidalgo y Guanajuato con un rendimiento de 2.97 t/ha. (SIAP, 2017).

2.7. Triticale (X. *Triticosecale* Wittmack)

2.7.1. Generalidades del triticale

Triticale (X. *Triticosecale* Wittmack) es un cereal antropogénico diseñado para incorporar la funcionalidad y el alto rendimiento del trigo (*Triticum* spp. Linnaeus 1753) y la durabilidad del centeno (*Secale cereale* Linnaeus 1753) (McGoverin *et al.*, 2011). Morfológicamente, la planta, espiga y grano presentan características intermedias entre trigo y centeno. La planta es rústica, con alta producción de biomasa, resistente al vuelco y tolerante a suelos ácidos y sequía, se adapta a suelos arenosos, los cuales presentan buen drenaje. La densidad recomendada es de 150 kg en siembra convencional en líneas, con agregado de fertilizante binario, 150 kg de 20-40-0 (Nitrógeno-Fosforo) y una fertilización de 40 unidades de N en macollaje. El laboreo del suelo es convencional en el caso de suelos bajo rotación

agrícola, aunque se ha logrado buen establecimiento y producción, con siembra directa en suelos arenosos (Bemhaja, 1996).

Las características físicas y la composición química proximal del grano de triticale son en general intermedias entre sus dos especies parentales y se parece más al trigo que al centeno en términos de tamaño de grano, forma y color. Sin embargo, el grano de triticale suele ser más grande y más largo que el grano de trigo. La composición química del grano de triticale es esencial para determinar sus posibles usos finales, así como la funcionalidad de sus componentes es fundamental para la fabricación de productos alimenticios. Entre los principales usos que se le ha dado al grano de triticale es el de grano harinero ya que puede someterse a las mismas condiciones de molienda que el trigo. Sin embargo, tiene menos rendimientos debido a que el endospermo de algunas variedades suele ser más duro que el de trigo, estas harinas de triticale se han usado en combinación con harina de trigo para la fabricación de diferentes tipos de pan como pan con levadura, panes densos y planos. También ha sido usado para elaborar fideos orientales. Por otra parte, debido a su alto contenido enzimático se ha utilizado en cervecería como adjunto y como malta cervecera ha demostrado que rinde altos niveles de extracto (Peña, 2004; Arendi y Zannini, 2013).

2.7.2. Composición química de triticale

Existe una gran variación en la composición química del triticale, esto se ve reflejado en los diferentes reportes sobre diferentes variedades, lo que sugiere que tiene un

potencial como alternativa para diversas aplicaciones en alimentos y bebidas. Los diferentes usos que se le da a este cereal están determinados esencialmente por su composición química (McGoverin *et al.*, 2011; Zhu, 2017). La composición química del triticale es en particular similar a la del trigo, y superior en algunos aspectos. El mayor contenido de lisina, mejor digestibilidad de las proteínas y el mejor equilibrio mineral lo hacen especialmente adecuado como reemplazo (o suplemento) de otros cereales en alimentos para humanos y animales. La mayoría del triticale producido en todo el mundo se utiliza para la alimentación animal. El triticale tiene un mayor contenido de proteínas que el trigo, junto con un balance de aminoácidos más favorable, factores que son ventajosos para las industrias porcina y avícola (Arendi y Zannini, 2013). Por otro lado, se ha demostrado que algunas variedades de triticale son adecuadas para uso en cervecería como adjunto y como malta, por su actividad enzimática 25-66 unidades de α -amilasa (Ceralpha Units) y 422-806 unidades de β -amilasa (Equivalentes de maltosa) y junto con su contenido de almidón (60%) y el aporte proteico (7.5-16.2%). Lo cual enriquece los mostos cerveceros de sustancias asimilables por la levadura, tales como azúcares fermentables y compuestos proteicos de bajo peso molecular hacen del triticale un cereal con aptitud cervecera como la cebada (Grujic y Pejin, 2007; Glatthar *et al.*, 2003; Glatthar *et al.*, 2005).

2.7.2.1. Almidón

Los carbohidratos son el principal componente del grano de triticale con un contenido aproximadamente de 70-72.1% en peso seco. Las condiciones medioambientales de crecimiento del cultivo y la variabilidad genética influyen sobre el contenido total de carbohidratos del triticale y se reflejan en el contenido de almidón. El cuál es el mayor componente de los carbohidratos (Zhu, 2017; Arendi y Zannini, 2013). El grano de triticale (60.0%) tiene un contenido de almidón similar al de cebada (62.5%) y trigo (61.0%) y más alto que el del centeno (54.0%) (Arendi y Zannini, 2013). Glatthar *et al.* (2003), evaluaron una variedad de triticale como adjunto en la elaboración de mostos cerveceros de malta de cebada y reportaron que triticale tuvo un contenido de sustancia fermentable de 72.0% calculado en equivalentes de almidón, superior al de la malta de cebada (67.3%). Así mismo, el almidón de triticale mostró una mejor solubilización y mejoró la atenuación límite de los carbohidratos fermentables (85.6%) cuando se adicionó en 25.0% mostrando mejor rendimiento que mezclas otros adjuntos como maíz y arroz (82.1%).

2.7.2.2. Proteína

La mayor importancia del triticale radica en su contenido de proteína, es el segundo componente más abundante del grano. El contenido de esta molécula es en un rango de 14-15%, mayor que trigo (14%), centeno (13.4) y cebada (12.0%). Sin embargo, el valor biológico de sus proteínas ha demostrado ser de mayor importancia que el de trigo ya que está relacionado positivamente con el contenido

de lisina, que es un aminoácido limitante en la mayoría de los cereales. Aunque el contenido de lisina en triticale también es limitado es mayor que en trigo. Así mismo, la proteína de triticale es más digerible que la de sus progenitores así lo han demostrado estudios de alimentación de animales de granja (Arendi y Zannini, 2013). Por su parte Zhu, (2017), reportó el contenido de proteína de genotipos diferentes de triticale, cultivados en diferentes regiones del mundo. En Sudáfrica 131 genotipos presentaron un contenido de proteína entre 7.5-16.2%. De igual manera en otros 11 genotipos se encontró un rango de proteína 10.5-14.6%. Lo que indicó que el contenido de proteína del triticale parece ser similar a trigo (Dennett *et al.*, 2013). Para otros 4 genotipos el contenido de proteína se reportó entre 12.7-13.0%, lo que indicó que alrededor del mundo los genotipos de triticale fluctúan en un rango proteico de 7.5-16.2%, incluso, se ha sugerido que las variaciones en la composición genómica de triticale no afecta su contenido de proteína (Navarro-Contreras *et al.*, 2014), no obstante lo anterior, las condiciones ambientales en las que se desarrolla el cultivo lo afectan de manera significativa (Pattison y Trethowan, 2013). Wozniak, (2016), realizó un estudio sobre las condiciones de crecimiento en monocultivo y rotación de cultivos con triticale, además de tres sistemas de labranza (Convencional, labranza reducida y cero labranzas) y reportó que el contenido de proteína no se afectó significativamente dando un rango de 14.8-15.0%.

2.7.2.3. Lípidos

El contenido de lípidos del triticale varía entre 1.2-1.6%, similar al contenido en trigo (1.3%), centeno (1.8%) y menor a cebada (2.5%). La harina obtenida de la molienda de triticale no varía el contenido de lípidos (Zhu, 2017; Frás *et al.*, 2016). Otros autores mencionan que el contenido de lípidos del triticale varía entre 1.1-2.4%, y que la composición de los ácidos grasos contenidos en el grano de triticale han sido los mismos que contienen sus progenitores, trigo y centeno. Salvo por los fosfolípidos, los cuales, son más abundantes en triticale. Por otra parte, el rango en el contenido de lípidos del triticale es amplio y estas variaciones pueden deberse a las diferencias en el contenido de ácido palmítico y ácido oleico (Arendi y Zannini, 2013; Chung y Tsen, 1974).

2.7.2.4. Enzimas

Los granos de cereales maduros y sanos se caracterizan por niveles muy bajos de actividad enzimática. Al humedecerse, los granos de cereal tienden a germinar (brotar), promoviendo un aumento en la actividad enzimática. Algunas variedades de triticale muestran altos niveles de actividad α -amilasa incluso en ausencia de brotes visuales. La tendencia de que el triticale produzca un alto nivel de actividad de α -amilasa y β -amilasa podría ser ventajosa en la producción de malta de triticale, que se utiliza como aditivo en la industria alimentaria, o en la elaboración de cerveza. En este último caso, se ha encontrado que la malta triticale es aceptable en relación con la actividad amilolítica y el rendimiento del mosto. Debido a que

comparado con cebada el triticale produce más enzimas cuando se somete al proceso de malteo. Algunas variedades de triticale producen 25-66 unidades de α -amilasa (Ceralpha Units) y 422-806 unidades de β -amilasa (equivalentes de maltosa) que comparado con cebada con tan solo 30.4 unidades de α -amilasa (Ceralpha Units) y 361 unidades de β -amilasa (equivalentes de maltosa). Así el triticale presenta una gran ventaja considerando que una alta actividad amilolítica es deseable para la producción de malta. Por su parte, la actividad proteolítica del triticale tiende a ser mayor que la del trigo y, en algunos casos, incluso la del centeno, la actividad proteolítica del triticale varía mucho según el genotipo y/o la ubicación de crecimiento (Peña, 2004). En comparación con el trigo y el centeno, el triticale tiende a tener una alta actividad de α -amilasa debido a la maduración tardía o pre-germinación. Esto puede presentar un inconveniente técnico para el procesamiento de triticale en la producción de alimentos (Dennett *et al.*, 2013). Dennett *et al.* (2013), estudió la respuesta de la actividad de α -amilasa de 5 genotipos de triticale, cosechado en condiciones de precipitación y cosechado en seco y encontró que la actividad osciló entre 0.231-1.078 y 0.06-0.135 Unidades Ceralpha (CU), respectivamente y que el triticale sometido a condiciones de precipitación parecía ser similar al del trigo, mientras que el segundo era más alto que el del trigo (0.051-0.075 CU).

2.8. Usos del triticale

Los principales usos del triticale están determinados por su composición química, que es muy parecida a la del trigo y el centeno. El principal uso que se ha dado al

triticale ha sido como alimento para ganado en todas sus formas, como grano, forraje y ensilado. También las variedades modernas de triticale son materia prima adecuada para la producción de bioetanol, principalmente porque el triticale posee enzimas amilolíticas endógenas que aseguran la conversión de grandes cantidades de almidón en azúcares fermentables (Pejin *et al.*, 2010; McGoverin *et al.*, 2011). En los últimos años, el triticale se ha explotado continuamente para la producción de alimentos, como pan, pastas y malta. El uso de triticale para el desarrollo de nuevos productos de cereales cumple con las tendencias actuales de consumo de productos de cereales nuevos o redescubiertos (Peña, 2004; Zhu, 2017).

2.8.1. Alimentos y bebidas

2.8.1.1 Malta cervecera

La industria cervecera es el mayor consumidor de malta a nivel mundial, puesto que, la malta representa el ingrediente más importante para la cerveza (Guerra *et al.*, 2009; Edney y Izydorczyk, 2003). El triticale tiene un gran potencial para el malteado y la elaboración de cerveza debido a las altas actividades de α y β -amilasa y actividad proteolítica (poder diastásico). Lo que es una característica deseable en el grano ya que no es necesario adicionar preparados enzimáticos en el macerado con la finalidad de degradar los componentes del grano para obtener azúcares fermentables y compuestos nitrogenados de bajo peso molecular que serán utilizados por la levadura durante la fermentación como un ahorro económico. La malta de triticale posee mayor poder diastásico que la de cebada, aproximadamente

253 °L, mientras que la cebada posee 115 °L. Lo que indica que la malta de triticale puede degradar completamente su almidón incluso con mejor eficiencia que la malta cebada. Otra ventaja son las bajas temperaturas de gelatinización del almidón 60 °C, que permite que las enzimas actúen de manera correcta durante el proceso de macerado del mosto. La α -amilasa tiene una temperatura óptima de actividad de 70 °C, mientras que β -amilasa, α -glucosidasa y dextrinasa límite tienen una temperatura óptima de 60-62.5 °C (Peña, 2004; Zhu, 2017; Pejin *et al.*, 2009; Arendi y Zannini, 2013; Guerra *et al.*, 2009).

De acuerdo con el análisis de los cambios en el perfil de proteínas y la medición de la actividad de α -amilasa (100 CU/kg) en el proceso de malteo de triticale, la malta de triticale puede ser usada en la fabricación de productos fermentados a base de cereales como la cerveza. Generalmente, la malta de triticale tiene mayor pérdida por malteo. Sin embargo, tiene mayor extracto de malta que cebada y los tiempos de remojo son más cortos comparado con cebada. La malta de triticale produce mostos con altos niveles de péptidos y nitrógeno soluble, lo que promueve turbidez, inestabilidad y un color oscuro en la cerveza. Las cervezas de triticale han resultado ser generalmente más oscuras y con un pH más elevado que las de cebada. El extracto obtenido de las cervezas de triticale (5.8 g/100 g cerveza), ha sido más alto que el de las cervezas de cebada (5.55 g/100 g cerveza). Por su parte el grado de fermentación de azúcares en cebada ha sido de 54.0% y en triticale de 51.0%, como consecuencia de esto las cervezas de triticale han presentado menor contenido de

alcohol y más compuestos nitrogenados que la cerveza de cebada (Muñoz-Insa *et al.*, 2016; Zhu, 2017).

También se ha evaluado la sustitución de malta de cebada por malta de triticales en la elaboración de mostos cerveceros. Grujic y Pejin, (2007), reportaron que una sustitución de hasta un 70.0% con malta base de triticales produjo mostos cerveceros de buenos parámetros analíticos de calidad, como porcentaje de extracto (87-89%), nitrógeno soluble (84-88 mg/100g), pH (5.7-6) y atenuación aparente (49.0%-83.0%). Sin embargo, la viscosidad del mosto aumentó considerablemente de 1.6 a 1.9 mPa·s. Lo cual dificultó la filtración. Así concluyó que la malta de triticales podría utilizarse de manera adecuada hasta en 70.0% de sustitución.

2.8.1.2. Panificación

Las harinas de triticales integrales y refinadas han sido evaluadas por su buen comportamiento en la preparación de productos para hornear. Se ha utilizado como sustituto en la elaboración de pan de centeno y trigo. El uso de triticales en la fabricación de pan parece más factible en las mezclas 60-40% de harina de trigo-triticales respectivamente, para preparar panes de levadura con atributos de calidad muy aceptables (Peña, 2004).

Recientemente se ha evaluado la calidad de algunas harinas de diferentes genotipos de triticales en panificación, así como su composición química, se ha encontrado que los atributos de calidad de los panes dependen mucho del genotipo utilizado. Por ejemplo, Frás *et al.* (2016) encontraron que entre nueve genotipos de

triticale, el volumen del pan varió entre 313 a 438 cm³, menor que el volumen que se obtiene de los panes fabricados con harina de trigo, pero más elevado que el que se obtiene en panes de centeno. Esto podría atribuirse principalmente al alto contenido de proteína polimérica total (glutenina soluble y proteína no extraíble residual) y menor contenido de albúmina (Navarro-Contreras *et al.*, 2014; Zhu, 2017). Por otro lado, la temperatura de horneado (160-240 °C) afecta a los panes de triticale en el contenido de humedad, actividad del agua y pH. Así, el triticale no presenta muchas ventajas respecto a trigo en la fabricación de pan (Sabovics *et al.*, 2014).

2.8.1.3. Galletas y tortillas

Se ha estudiado la viabilidad de producir galletas, pastas y tortillas a base de triticale. Pattison y Trethowan, (2013), evaluaron 7 genotipos de triticale y se evaluaron las variaciones en el diámetro (54–56 mm), la altura (3,45–6,14 mm), el peso (6,19–7,87 g) además la tasa de superficie ampollada (0 a 95%) de las galletas. Se concluyó que la selección de una variedad de triticale adecuada puede tener un impacto positivo en la calidad de las galletas.

Vaca-García *et al.* (2011), evaluaron mezclas de harina de triticale obtenida de molienda fina con harina de maíz nixtamalizado y encontraron que adicionando más del 50.0% de harina de triticale a la formulación de tortillas tuvo un decremento en la capacidad de absorción de agua de la masa. Debido por diferente composición de las harinas. Además, un 25.0% de harina de triticale provocó que la adhesividad

de la masa fuera inadecuada para el procesamiento manual. Sin embargo, se observó que la adición de agua a 80 °C mejoró la consistencia de la masa debido a la gelatinización del almidón. Se concluyó que un 10.0% de adición de harina de triticale fue bueno para la fabricación de tortillas de calidad aceptable.

2.8.2 Otros Usos

2.8.2.1. Bioetanol

El bioetanol es un biocombustible moderno que ha sido utilizado con aditivo o sustituto de gasolina y diesel, con la finalidad de reducir las emisiones contaminantes de gases de invernadero. El uso de biocombustibles presenta muchas ventajas, pero la más importante es que gracias a su producción se reduce la demanda de combustibles fósiles y se contribuye con la seguridad energética, debido a que la energía utilizada en su producción es poca comparada con la energía que se obtiene de él, lo que se traduce a que su uso es amigable con el medio ambiente. El bioetanol se puede obtener de materias primas biológicas como los cereales, que son fuentes comunes de biomasa y ricas en contenido de almidón. Del cual se puede obtener una gran cantidad de azúcares fermentables para la producción de bioetanol (Dowideit, 2007; Rosenberguer *et al.*, 2001).

El triticale ha demostrado la capacidad que tiene para ser una alternativa como materia prima en la producción de bioetanol a gran escala, debido a su capacidad de degradar completamente el almidón. Es capaz de degradar hasta en un 99.55% su propio almidón dando un rendimiento de 37.85 g bioetanol/100 g DM, en

comparación con su progenitor trigo que tiene la capacidad de degradar solo 81.46% de su propio almidón dando un rendimiento de 32.2 g bioetanol/100 g DM, lo cual representa en triticales una ventaja tecnológica y económica (Pejin *et al.*, 2009).

2.8.2.2. Películas biodegradables para alimentación

Se han desarrollado películas comestibles y biodegradables para la conservación de alimentos a partir de la proteína de triticales con diferentes contenidos de glicerol. La permeabilidad al vapor de agua de películas con una formulación 20-33 g glicerol / 100 g de proteína, dio valores en un rango de $0.10-4.22 \times 10^{-10} \text{ g m}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$. Las variaciones de la resistencia a la tracción (TS) y el porcentaje de alargamiento (% E) fueron 2.9-0.20 MPa y 250-110%, respectivamente. Lo que indicó que la proteína de triticales puede ser usada satisfactoriamente para la producción de biopelículas (Zhu, 2017; Aguirre *et al.*, 2011).

De igual manera la harina gelatinizada de triticales ha sido utilizada para la elaboración de biopelículas debido a que es rica en almidón y proteínas. Algunas propiedades como la claridad de la película fueron de 85.0%, lo que indica la aceptación del consumidor potencial. Sin embargo, el almacenamiento hasta 60 días tuvo influencia negativa en la permeabilidad de la película y las propiedades de punto de quiebre, porcentaje de elongación, redistribución de la humedad y disminución del volumen libre para las moléculas de proteína, estos cambios llevaron a la formación de pequeñas grietas en las películas hacia el final del

almacenamiento. En general, el rendimiento funcional de las películas fue adecuado hasta los 45 días de almacenamiento y se han propuesto como potencialmente adecuadas para empaques en la conservación de alimentos (Zhu, 2017; Borneo *et al.*, 2016).

2.9. Uso cervecero de triticale y malta de triticale

En la última década los esfuerzos por dar un aprovechamiento a los diferentes genotipos de triticale se han centrado en su uso en la fabricación de alimentos y bebidas (Zhu, 2017). En bebidas, la cerveza ha sido el objetivo principal ya que es ampliamente reconocido que el triticale tiene gran potencial para la fabricación de cerveza. La producción y análisis de maltas de triticale es el primer paso para determinar la viabilidad de determinado genotipo de acuerdo a características fisicoquímicas de calidad como harinosidad, extracto de malta, poder diastásico y nitrógeno soluble, entre otras. Las maltas base o también conocidas como maltas base son el punto de partida para el análisis de las características de calidad que puede tener determinado genotipo, es por esta razón que en las distintas investigaciones de maltas de triticale se evalúa como malta base (Stewart, 2013; Grujic y Pejin 2007). Algunos valores de los parámetros analíticos de calidad de maltas base de triticale se muestran en la Cuadro No. 1.

Cuadro No. 1. Análisis de calidad de maltas base de 3 genotipos de triticale Grujic y Pejin, (2007).

Parámetros	Variedad triticale		
	NS TRITIC	ODISEJ	AD52
Peso de mil granos, g MS	35.52	35.73	40.24
Peso hectolitro, kg/hL	50.4	56.9	50.8
Vitreosidad, %	4.44	2.13	0.52
Contenido de humedad en el grano, %	4.36	4.45	4.46
Contenido de extracto del mosto en molienda fina, % MS	8.906	8.915	8.886
Extracto fermentable por la levadura	82.63	82.66	82.70
Sacarificación, min	<10	<10	<10
Claridad del mosto	Ligeramente opaco	claro	claro
Filtración, min	24	14	23
Color del mosto, unidades EBC	7.5	6.0	9.0
pH del mosto	5.78	5.78	5.66
Viscosidad, mPa.s, 8.6%e	2.012	1.874	1.892
Nitrógeno soluble, mg/100ml	112.0	100.10	112.00
Nitrógeno soluble, % MS	1.00	0.90	1.01
Titulación de nitrógeno formaldehído, mg/100 ml	31.50	35.00	31.50
Atenuación real, %	60.04	57.74	65.10
Atenuación aparente, %	74.12	71.28	80.37

*MS= *Materia seca*

Se han empleado variedades de triticale malteado como sustituto parcial de malta de cebada en la producción de mostos cerveceros, encontrando que la aplicación de triticale como adjunto y como malta, en combinación con malta de cebada generaron mostos de buenos parámetros fisicoquímicos (Grujic y Pejin 2007). En relaciones de 10.0% a 70.0%, se ha obtenido mayor extracto de carbohidratos fermentables de 88.0%-89.0%, comparado con mostos exclusivamente de cebada,

de 81.0%. Esto implica que la malta de triticale contribuye con una buena cantidad de azúcares fermentables que se convertirá en alcohol por la acción de la levadura (Grujic y Pejin 2007; Pejin *et al.* 2013). Por su parte el pH del mosto y contenido de nitrógeno soluble se incrementaron de 5.6 a 5.9 y de 79.1 mg/100mL a 88.7 mg/100mL, respectivamente (Grujic y Pejin 2007). El pH se vio afectado en gran medida ya que es un rango que limita la acción de las amilasas, cuyo valor óptimo según Hough, (1990) es 5.2-5.5. El incremento del nitrógeno soluble provocó un aumento en la viscosidad del mosto de 1.6 a 1.98 mPa·s aumentando el tiempo de filtrado de 8 min a 46 min, un aumento de tiempo significativo que representa una desventaja tecnológica, aunado a esto la atenuación aparente de los carbohidratos fermentables en los mostos disminuyó significativamente de 85.31% a 59.9%. Sin embargo, se concluyó que de acuerdo al contenido de extracto fermentable la malta de triticale podría ser utilizada en combinaciones de hasta 70.0% confiriendo a los mostos buenos parámetros de calidad. (Grujic y Pejin, 2007; Olgica *et al.* 2010), más recientemente la aplicación tecnológica de malta triticale en la fabricación de cerveza a nivel industrial se ha visto favorecida, Zipaev *et al.* (2016), llevaron a cabo pruebas con malta de triticale para la fabricación de cerveza en una fábrica Rusa, adicionando hasta un 50.0% de malta de triticale a la preparación de mostos cerveceros de cebada, hicieron análisis de mosto y cerveza durante el proceso de producción, a lo cual concluyeron que es viable implementar líneas de producción con malta de triticale como medida para reducir las importaciones de cerveza de su país al utilizar triticale interno en la fabricación.

Guzmán-Ortíz *et al.* (2018) evaluaron las características fisicoquímicas de calidad de maltas base de líneas experimentales de triticale moderno, encontrando que el contenido de extracto fue de 89.6-97.6%, la viscosidad de las maltas fue de 1.6-1.8 cP. el contenido de proteína soluble fue de 4.5%-5.6% y el poder diastásico tuvo un máximo de 190.19 °L. De acuerdo con estos resultados, procedieron a la elaboración de mostos cerveceros y cerveza, con distintos niveles de combinación de malta de triticale con malta de cebada, encontrando que un 30.0% de malta de triticale mejoro la fermentación de los azúcares de 77.07% a 83.79%, pero aumento la viscosidad del mosto (no muestra datos). Estos valores de los parámetros analíticos indican que las maltas de triticale son adecuadas para aplicarse en el proceso cervecero. Sin embargo, concluyen que la viscosidad de los mostos de triticale afecto la turbidez de la cerveza.

Pribic *et al.* (2018), evaluaron maltas de dos variedades de triticale, y encontraron un contenido de extracto 84-88%, poder diastásico 153-162 °L, contenido de nitrógeno de 1.12-1.21%, viscosidad de 1.6-1.9 mPa·s, pH de 5.7 y un tiempo de filtración mayor a 60 min. Por lo cual se consideró que el tiempo de filtración fue muy prolongado, lo que pudo ser por la baja actividad de las enzimas que degradan los carbohidratos no amiláceos, o por la temperatura de secado que al ser elevada pudo causar la desactivación de dichas enzimas. El pH de los mostos se consideró como adecuado para la maceración y fermentación, los valores de viscosidad y contenido de nitrógeno se consideraron como altos. Sin embargo, adecuados, por su parte los valores de poder diastásico y extracto fermentable se consideraron

como altos y adecuados comparados con los obtenidos en cebada en estudios previos.

El proceso bioquímico de la transformación de las proteínas del grano de triticale durante la germinación también ha sido estudiado. Muñoz-Insa et al. (2016), realizaron un estudio en el cual determinaron los cambios y modificaciones de la composición proteínica del triticale en el proceso de malteado. Las cuales, durante el proceso de malteo fueron separadas y analizadas de acuerdo a su punto isoeléctrico, solubilidad y su peso molecular. Los resultados describieron los cambios en las diferentes fracciones de proteína durante el malteo. Finalmente, de acuerdo a la composición de aminoácidos en el mosto resultante de la malta obtenida de triticale y el perfil de los componentes aromáticos fue adecuado para la fabricación de bebidas fermentadas y que los cambios metabólicos que ocurren en el triticale durante el malteo tienen potencial para la producción de productos a base de cereales.

Grujic y Pejin, (2007), investigaron maltas de 8 líneas experimentales de triticale, y evaluaron el desempeño del grano durante la germinación con y sin la adición de ácido giberélico. Para determinar si este tenía influencia positiva en la transformación del grano. Los análisis realizados mostraron que las 8 variedades de triticale sin ácido giberélico tuvieron un contenido máximo de extracto de 86.0% mientras que con ácido giberélico fue de 86.9% lo que indica que no hubo diferencias significativas. El contenido de nitrógeno soluble aumentó de 92 mg/100

g a 144.9 mg/100 g, con una reducción de la viscosidad de los mostos de 2.3 a 1.7 mPa·s con la adición de ácido giberélico, lo cual indicó una mayor actividad enzimática y por consiguiente una mejor degradación de los componentes del grano. El pH de los mostos no se afectó por el ácido giberélico. Se concluyó que el triticale es adecuado como sustituto parcial de malta de cebada en cervecería y que el ácido giberélico tiene un efecto positivo en la degradación del grano y en los parámetros de calidad de la malta.

2.9.1. Uso de triticale, trigo y centeno como adjuntos en cervecería

El uso de triticale como adjunto en combinación con preparados enzimáticos también ha sido estudiado. Pejin *et al.* (2013), usaron triticale como adjunto de malta de cebada en la producción de mostos en combinaciones de hasta 70.0% de triticale y 30.0% de malta de cebada, más un preparado enzimático comercial (Ultraflow Max) para ayudar a degradar los componentes del grano. Se concluyó que la adición de la enzima comercial ayudó a disminuir la viscosidad, mejoró la filtrabilidad e incrementó el contenido de extracto fermentable del mosto.

Hay investigaciones más recientes entorno al uso de trigo y centeno como materiales para cervecería, entre ellas:

Zhuang *et al.* (2017), Sometieron granos no malteados de trigo, centeno, avena y cebada al proceso de obtención de cerveza. El testigo que utilizaron fue malta de cebada. Evaluaron las características fisicoquímicas de los mostos. Los cuales mostraron una concentración baja de nitrógeno amino libre (FAN) y una viscosidad

más elevada respecto al testigo. La concentración de azúcares reductores como la maltosa en mostos de trigo y centeno mostraron concentraciones similares al testigo, debido al contenido de almidón en los granos. Los autores recomendaron el uso de preparados enzimáticos cuando el proceso cervecero se lleve a cabo con granos no malteados, para asegurar la transformación adecuada de los componentes y evitar viscosidad elevada en los mostos y obtener mayor disposición del Nitrógeno amino libre.

Balcerek *et al.* (2016), utilizaron grano de centeno en combinación con malta de centeno, trigo y cebada, más un preparado enzimático. Obtuvieron destilados mediante la preparación de mostos y fermentación. La composición química de los destilados reveló una variación de resultados en función de la cantidad de centeno y del tipo de grano malteado. A lo cual, encontraron que la concentración de azúcares reductores (glucosa y maltosa) fue dos veces más alta utilizando un 30.0% de malta de cereales con centeno, respecto de los destilados en los que se aplicó el preparado enzimático. La mayor concentración de etanol se obtuvo cuando se adicionó 50.0% de malta de centeno y 50.0% de centeno. Sin embargo, la eficiencia de la sacarificación del almidón fue baja respecto a las demás combinaciones. La mayor eficiencia en la sacarificación del almidón se obtuvo cuando se combinó 50% de malta de trigo con 50.0% de centeno. Se concluyó que el uso de maltas de cereales favorece la sacarificación y el mejor aprovechamiento de los granos en destilados alcohólicos, como alternativa para el desarrollo de nuevos productos.

Balcerek *et al.* (2009), utilizaron centeno para obtener mostos adicionando preparados enzimáticos con la finalidad de evaluar el efecto de estos sobre la degradación de los componentes del grano de centeno y las características fisicoquímicas de los mostos. El uso de los preparados enzimáticos disminuyó la viscosidad hasta en un 99.0% y mejoró la filtrabilidad debido a la degradación de la proteína. El contenido de azúcares reductores fue más alto respecto al testigo. El desempeño en la fermentación fue mejor e indicó la buena degradación del almidón. Los autores sugirieron que el uso de preparados enzimáticos puede ser una alternativa económicamente viable en la elaboración de destilados alcohólicos.

2.9.2. Antecedentes importantes sobre el efecto de la temperatura de secado en las características de calidad de maltas

Skendi y Papageorgiou, (2018), evaluaron diferentes temperaturas de secado en malta de cebada. Aplicaron un presecado a temperaturas de 40 °C-45 °C, con un curado a 80 °C, 90 °C y 100 °C, 6 h cada uno. Compararon con una malta comercial de cebada y encontraron parámetros de calidad como el contenido de β -Glucanos fue similar a la malta comercial y disminuyó hasta un curado de 100°C, esto se pudo lograr gracias al presecado, el cual estabilizo la enzima β -Glucanasa y le confirió resistencia a temperaturas de curado de hasta 100 °C, esto a su vez provoco que otros parámetros se mantuvieran similares a la malta comercial. La gravedad específica del mosto para las tres temperaturas de curado fue similar, así como la viscosidad 3 cP, con diferencia en el curado de 100 °C que fue de 4 cP. Por su parte el contenido de extracto fue similar a 90 °C (74%) y disminuyó a 100 °C (64%). El

contenido total de azúcares fermentables en el mosto fue similar a 80 °C (20 g/L). Sin embargo, el aumento de la temperatura de secado a 100 °C provocó que disminuyera (15 g/L). El disacárido más importante para la fermentación es la maltosa, el contenido de este azúcar fue, en la malta comercial de 72% de contenido total de azúcares fermentables. Mientras que los tratamientos a 80 °C y 100 °C fueron de 66% y a 90 °C de 59%. Sin embargo, los autores propusieron que el perfil completo de los azúcares fermentables fue similar a los de la malta comercial a un curado de hasta 90 °C, lo cual, se pudo deber porque las enzimas responsables de la degradación del almidón sobrevieron a las altas temperaturas por el presecado de la malta verde.

Gebremariam *et al.* (2012), evaluaron un régimen de secado (18 h a 30 °C+1h a 60 °C+ 3h) para obtener una malta verde y aplicaron temperaturas de curado de 65 °C y 80 °C, respectivamente en maltas de teff (*Eragrostis tef*). Estudiaron el efecto que este tipo de secado provocó sobre la actividad de las enzimas responsables del poder diastásico α -amilasa, β -amilasa y dextrinasa límite. Encontraron que el aumento de la temperatura de curado tuvo un efecto negativo sobre la actividad de las enzimas, que, aunque no se desactivaron por completo, se redujeron en cantidad. La malta verde tuvo un contenido de enzimas de α -amilasa 61 U/g, β -amilasa 502 U/g y dextrinasa límite 1,297 U/kg. a 65 °C de curado la cantidad de las enzimas incrementó en α -amilasa 68 U/g, pero disminuyó la β -amilasa 440 U/g y dextrinasa límite 1,072 U/kg, mientras que para 80 °C la cantidad de las enzimas se disminuyó hasta α -amilasa 42 U/g, β -amilasa 406 U/g y dextrinasa límite 736 U/kg,

lo que sugiere que el aumento en la temperatura de curado no eliminó por completo la actividad enzimática de una malta al final del secado, solo la redujo.

III. JUSTIFICACIÓN

Las investigaciones sobre triticale que evalúan su desempeño en el proceso cervecero se han limitado a su empleo como adjunto o como malta base (base, secado con temperaturas máximas de 70 °C, maltas diastásicas). En cervecería las maltas base son comúnmente utilizadas en combinación con otras maltas debido a su alto poder enzimático, que ayuda a la degradación de los almidones de otras maltas con poco o nulo poder diastásico, de esta manera se puede obtener una amplia variedad de cervezas. El triticale es un cereal que cuenta con ventajas agronómicas que lo hacen un cereal más económico de producir que la cebada. Además, ha demostrado poseer capacidad amilolítica y proteolítica endógena necesaria para degradar su propio almidón y proteínas, con mayor eficiencia que la cebada. Por esta razón, es importante evaluar un secado a mayor temperatura y su efecto sobre la malta de triticale, ya que, si éste no cambia significativamente en las características de la malta base, el triticale podría tener una oportunidad como malta oscura conservando sus características de malta base y considerarse como una materia prima efectiva como la cebada y más económica.

El trigo y el centeno recientemente han sido evaluados como granos no malteados para la producción de cerveza con un desempeño menor comparado con malta de cebada. Así, se han sugerido como una alternativa viable en combinación con preparados enzimáticos para el aprovechamiento de los componentes de los granos. Por esta razón, es importante evaluar su desempeño como maltas.

En el presente trabajo, se procuró que las maltas que se elaboraron con tales cereales no perdieran la actividad enzimática que caracteriza a las maltas base (diastásicas) y oscuras, y se obtuvo un mosto cervecero por cada una de ellas.

IV. HIPÓTESIS

El aumento en la temperatura de secado provocará un efecto de cambio sobre las características fisicoquímicas de la malta de triticale.

V. OBJETIVOS

6.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar diferentes temperaturas de secado en maltas de triticale (X. *Triticosecale* Wittmack) para observar el efecto de cambio sobre las características fisicoquímicas.

6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obtener maltas base (70 °C) de triticale, cebada, trigo y centeno.
- Analizar las características fisicoquímicas de las maltas base de triticale, cebada, trigo y centeno, para saber si triticale se comporta como cebada y quién entre trigo y centeno aporta las características fisicoquímicas cerveceras a dicho cereal.
- Obtener maltas oscuras de triticale con diferentes temperaturas de secado (80 °C, 90 °C).
- Analizar las características fisicoquímicas de las maltas de triticale oscuras, para determinar el efecto de la temperatura de secado sobre las características fisicoquímicas.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Lugar de estudio

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, en el laboratorio de Calidad de los productos agropecuarios, planta piloto de alimentos, y en el laboratorio de textura de alimentos.

El trabajo se dividió en 2 fases:

La fase 1, de caracterización de los granos y malteo. Esta consistió en los análisis de porcentaje de humedad, proteína y germinación de los granos. Así como el proceso de malteo de los mismos.

La fase 2, de análisis fisicoquímicos de calidad maltera. Esta consistió en los análisis de porcentaje de humedad, harinosidad, proteína y extracto de malta. Poder diastásico, pH del mosto, extracto fermentable por la levadura, proteína soluble del mosto y Viscosidad del mosto.

6.2. Materiales

Se utilizaron los siguientes granos

- Triticale (X. *Triticosecale* Wittmack), variedad Bicentenario.
- Trigo duro (*Triticum* spp.), variedad Tollocan.
- Centeno (*Secale cereale*), variedad Castellana.

- Cebada (*Hordeum vulgare*), variedad doña Josefa.

Triticale, trigo y cebada fueron proporcionados por el Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal, del Estado de México (ICAMEX).

Por su parte el centeno fue adquirido con un distribuidor de semillas certificadas.

6.3. Metodologías

Para la realización de los análisis fisicoquímicos de calidad maltera se utilizaron las metodologías estandarizadas de la American Society of Brewing Chemists (ASBC 2004).

6.4. Fase 1. Caracterización de los granos y malteo

6.4.1. Humedad del grano (%)

El porcentaje de humedad de los cuatro granos se realizó por triplicado de acuerdo al método Barley 5A de la ASBC (2004), por diferencia de peso, para lo cual se secó la harina del grano en una estufa a 130 °C/1 h, con la siguiente ecuación.

$$\% \text{Humedad} = \frac{P1 - P2}{M} \times 100$$

Donde:

P1= Peso del crisol con muestra húmeda.

P2= Peso del crisol con muestra seca.

M= Peso de la muestra.

6.4.2. Proteína del grano (%)

El porcentaje de proteína de los cuatro granos se realizó por triplicado de acuerdo al método Barley 7A de la ASBC (2004) (Figura No. 5), por digestión ácida. Se realizó en un equipo Kjeldahl. La respectiva valoración del nitrógeno de las muestras se hizo con ácido clorhídrico al 0.01N, con la siguiente ecuación con un factor de conversión de 6.25.

$$\% \text{Proteína} = \frac{(\text{mL } 0.01\text{N HCL} \times \text{N} \times \text{n})}{(\text{M} * 100)} \times 6.25$$

Donde:

mL 0.01N HCL= mL HCL 0.01N gastados en la valoración.

N= Normalidad del ácido clorhídrico (0.01N).

n= Peso molecular del nitrógeno (14.007 g/mol).

M= Peso de la muestra en mg.

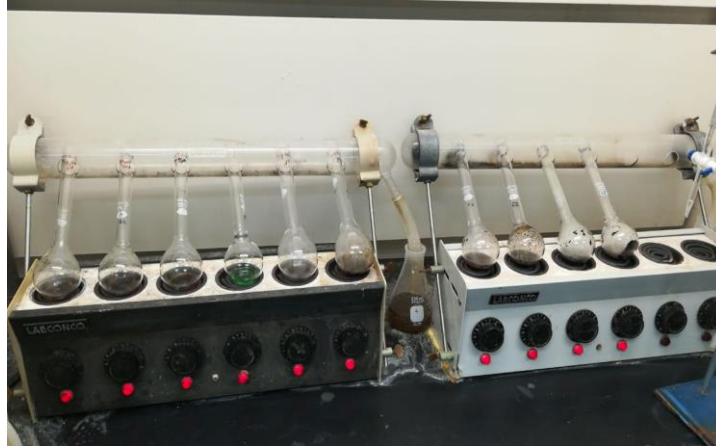


Figura No. 5. Determinación de proteína mediante método Kjeldahl.

6.4.3. Germinación del grano (%)

El porcentaje de germinación de los cuatro granos se realizó por triplicado de acuerdo al método Barley 3A de la ASBC (2004) (Figura No. 6). Para lo cual se colocaron 100 granos de una muestra representativa de cada cereal entre dos papeles absorbentes humedecidos con agua potable. Posteriormente se colocaron en un aparato germinador a una temperatura de 18°C, y a una humedad relativa del 90%. El porcentaje total de germinación se determinó hasta las 72 horas.



Figura No. 6. Determinación de porcentaje de germinación.

6.5. Malteado

6.5.1. Lavado y desinfección de los granos

Se realizó un lavado a 100 g de cada uno de los cuatro cereales con jabón líquido neutro con la finalidad de eliminar granos vacíos y basura de los mismos. Posteriormente se sumergieron en una solución de hipoclorito de calcio al 0.1% (1g de $(Ca (ClO)_2)$ /1L de agua destilada) por 1 h para prevenir contaminación por hongos durante la germinación. Posteriormente los granos se retiraron de la solución para pasar al remojo en agua destilada (Ambriz-Vidal, 2015).

6.5.2. Remojo de los granos

Se realizaron ensayos de remojo preliminar (Figura No. 7) con los cuatro cereales en tiempos de 12, 24 y 48 h se determinó que a 24 h de remojo triticale, trigo y centeno alcanzaron una humedad de 45% indicada como adecuada para iniciar la germinación (Román- Gutiérrez *et al.* 2005), el porcentaje de humedad se determinó por diferencia de peso siguiendo el método Barley 5A de la ASBC (2004). Posteriormente, se realizó el remojo general, colocando los granos previamente lavados y desinfectados en vasos de precipitado de 500 mL con agua destilada. Se retiraron los granos cada 6 h para dejarlos respirar por 30 min. Cumplido el tiempo de remojo se procedió a llevar los granos a germinación. La cantidad de grano que se utilizó fue la suficiente para obtener aproximadamente 500 gramos de malta.



Figura No. 7. Remojo de los granos con agua destilada.

6.5.3. Germinación

Se realizó en domos de plástico (Figura No. 8) y condiciones de oscuridad, a 18°C en un equipo de germinación Seedburo modelo SEARS 255.94299110, equipado con control de temperatura y humedad al 90.0% por 5 días. Se realizaron volteos a los granos para evitar pudriciones y entrecruzamientos de raicillas, además de aspersiones periódicas con solución de hipoclorito de calcio para prevenir contaminaciones por hongos (Figuroa, 1985). Pasado el tiempo de germinación, los granos se llevaron a secado.



Figura No. 8. Germinación de los granos en domos de plástico.

6.5.4. Secado

Se realizó en una estufa con flujo de aire caliente Riosa modelo HCF-62D (Figura No. 9), con la rampa de temperatura indicada por Muñoz-Insa *et al.* (2013), como se indica a continuación:

Escalón 1 50 °C – 16 horas

Escalón 2 60 °C- 1 hora

Escalón 3 70 °C – 1 hora

Escalón 4 80 °C – 5 horas

Se hicieron modificaciones en el último escalón de temperatura de tal manera que se obtuvieron 3 tratamientos (Cuadro No. 2). El tratamiento 1 (T1) fue una malta base y los tratamientos 2 (T2) y 3 (T3) fueron maltas oscuras. Por motivos de arreglo experimental solo para el tratamiento número 2 no se modificó la rampa original.

Con el propósito de cumplir con los objetivos de la investigación, el T1 se aplicó a los 4 cereales, mientras que, los T2 y T3, sólo se aplicaron a triticale.

Cuadro No. 2. Tratamientos aplicados para la obtención de las maltas.

T1	T2	T3
50°C – 16h	50°C – 16h	50°C – 16h
60°C – 1h	60°C – 1h	60°C – 1h
70°C – 1h	70°C – 1h	70°C – 1h
70°C – 5h	80°C – 5h	90°C – 5h

El T2 es la rampa de temperatura original indicada por Muñoz-Insa *et al.* (2013).

Pasado el tiempo de secado de cada tratamiento, se enfriaron las maltas a temperatura ambiente y se almacenaron en bolsas herméticas para su posterior análisis.



Figura No. 9. Secado en estufa con circulación de aire caliente.

6.6. Fase 2. Análisis fisicoquímicos de calidad maltera

Los análisis fisicoquímicos a los tratamientos se realizaron por triplicado. Se realizaron con metodologías estandarizadas para determinación de calidad de malta de la ASBC 2004 como se describe a continuación:

6.6.1. Humedad de malta (%)

Se molieron 5 gramos de malta de cada uno de los tres tratamientos y se registró el peso de cada uno. Se colocaron en crisoles de aluminio puestos previamente a peso constante en una estufa de secado a 104°C, por 3 horas. Se registró el peso de los tratamientos después del secado. Se calculó el porcentaje de humedad por diferencia de peso de acuerdo con la siguiente fórmula (Malt 3, ASBC 2004).

$$\% \text{Humedad} = \frac{P2}{P1} \times 100$$

Donde:

P2= Peso de la muestra después del secado en la estufa.

P1= Peso de la muestra antes del secado en la estufa.

6.6.2. Harinosidad de malta (%)

Se tomaron muestra de 100 granos de malta de cada tratamiento y se colocaron en una placa con un haz de luz capaz de traspasar el endospermo harinoso de cada grano (Figura No. 10). Para clasificarlo de acuerdo con la siguiente escala según la superficie por la cual, el haz de luz pudo traspasar (Malt 2E, ASBC 2004).

- Harinosos= Los que no más de $\frac{1}{4}$ del endospermo es vitreo.
- Medianamente vitreos= Los que $\frac{1}{4}$ y menos de $\frac{3}{4}$ del endospermo es vitreo.
- Vitreos= Los que $\frac{1}{4}$ del endospermo es vitreo.



Figura No. 10. Determinación de harinosidad de la malta.

6.6.3. Proteína de malta (%)

Se pesaron 1.5 g de muestra ya molida en matraces Kjeldahl. Se realizó por digestión ácida. La respectiva valoración del nitrógeno de las muestras con ácido clorhídrico al 0.01N, se hizo con la siguiente ecuación con un factor de conversión de 6.25 (Malt 8A, ASBC 2004).

$$\% \text{Proteína as - is} = \frac{(\text{mL } 0.01\text{N HCL} \times \text{N} \times \text{n})}{(\text{M} \times 100)} * 6.25$$

$$\% \text{Proteína BS} = \frac{\% \text{Proteína as - is} \times 100}{100 - \% \text{Humedad}}$$

Donde:

mL 0.01N HCL= mL HCL 0.01N gastados en la valoración.

N= Normalidad del ácido clorhídrico (0.01N)

n= Peso molecular del nitrógeno (14.007 g/mol).

M= peso de la muestra en mg.

6.6.4. Extracto de malta (%)

Se pesaron 25 g de malta con molienda gruesa en matraces Erlenmeyer de 250 mL, se adicionó 100 mL de agua destilada a 45 °C y se colocaron en baño maría con agitación con agua destilada a 45 °C. Se mantuvo la temperatura por 30 minutos, después a 45 °C y se elevó la temperatura a razón de 1 °C/minuto hasta llegar a 70

°C. Se mantuvo a 70 °C, 60 min. Una vez terminada la maceración el mosto se bajó la temperatura mediante adición de agua fría al baño maría por 10 minutos. Una vez frío se ajustó el peso de los matraces a 450 g. Se procedió a filtrar el mosto a través de papel filtro Whatman en frascos de precipitado de 500 mL, los primeros 200 mL de mosto filtrado se devolvieron al lecho filtrante y se tomó el tiempo de filtración de cada muestra (Figura No. 11). Una vez filtrados los mostos se procedió al cálculo de la gravedad específica y los grados plato (°P) de cada muestra para calcular el % de extracto mediante las siguientes fórmulas (Malt 4, ASBC 2004).

$$\text{Peso del mosto} = \frac{(M + 800) \times 100}{100 - \text{°P}}$$

$$\% \text{Extracto as - is} = \frac{\text{°P}}{100} \times \text{Peso del mosto}$$

$$\% \text{Extracto DB} = \frac{100 \times E}{100 - M}$$

Donde:

P= g de extracto en 100 g de mosto (°P).

M= Humedad de la malta.

E= Extracto as-is.



Figura No. 11. Determinación del extracto de las maltas.

6.6.5. Poder diastásico

Se realizó una infusión de los tratamientos. Se pesaron 25.5 g de malta de molienda fina en matraces Erlenmeyer de 500 mL y se adicionaron 500 mL de una solución de NaCl al 0.5%. Se agitó la infusión de malta y se dejó reposar a 20 °C, 2.5 h con agitación cada 20 min. Al finalizar el tiempo de reposo se filtró la infusión de malta a través de papel filtro y se recibió en un vaso de precipitados de 500 mL. Los primeros 50 mL se recircularon. Al finalizar la filtración se tomaron 20 mL de infusión de malta y se colocaron en matraces volumétricos de 100 mL. Se aforó con solución de NaCl al 0.5% y se agitó. Se preparó un blanco en un matraz volumétrico de 250 mL, con solo 20 mL de solución de NaOH 0.5N y 10 mL de infusión de malta. Posteriormente se provocó la diástasis (Formación de sustancias reductoras). Para

lo cual se tomaron 10 mL de infusión de malta en matraces volumétricos de 250 mL y se adicionaron 200 mL de solución de almidón estándar al 2%, a 20°C, con agitación vigorosa. Se dejó reposar 30 min. Al finalizar el tiempo de reposo se agregaron 20 mL de NaOH 0.5N, se agitó y aforó con agua destilada a 20 °C.

Posteriormente, se realizó la valoración del blanco y de las sustancias reductoras de las muestras de infusión de malta. Se colocaron por separado 5 mL del blanco y de infusión de malta en matraces Erlenmeyer de 125 mL con 10 mL de solución alcalina de ferricianuro (Previamente estandarizada). Se agitó y se llevó a baño maría en ebullición 20 min. Pasado este tiempo, se retiraron los matraces y se colocaron en agua a 20 °C. Para enfriar 10 min. Se adicionaron 20 mL de solución salina de ácido acético y 1 mL de solución de yoduro de potasio. Se agitó y se realizó la valoración con solución de tiosulfato de sodio (Previamente estandarizada), hasta que se logró la conversión del color azul a blanco (Figura No. 12). Se registró el volumen de tiosulfato de sodio gastado para cada muestra de infusión de malta. Al cual se le llamó volumen A y el blanco, volumen B (Malt 6A, ASBC 2004).

Para calcular el poder diastásico de los tratamientos se aplicó la siguiente fórmula.

$$\text{Poder diastásico } ^\circ\text{L as} - \text{is} = (B - A) \times 23$$

$$\text{Poder diastásico DB} = \frac{^\circ\text{L as} - \text{is} \times 100}{100 - M}$$

Donde:

B= Volumen de tiosulfato de sodio utilizado en la valoración del blanco.

A= Volumen de tiosulfato de sodio utilizado en la valoración de la muestra de infusión de malta.

M= humedad de la muestra de malta.

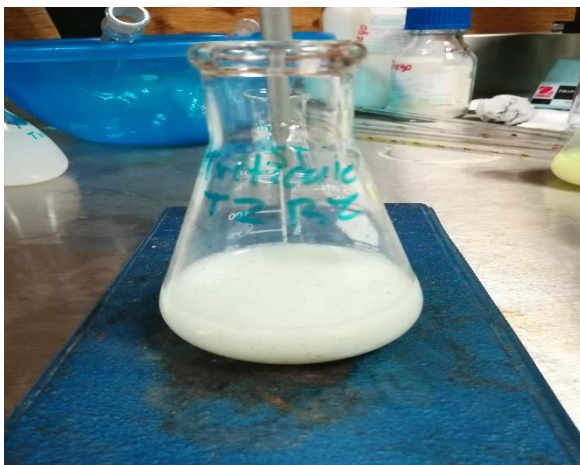


Figura No. 12. Determinación del poder diastásico de las maltas.

6.6.6. pH del mosto

Se realizó la determinación de pH de cada uno de los tratamientos (Wort 8, ASBC 2004). Se prepararon 50 mL de mosto en matraces Erlenmeyer de 250 mL de la misma forma como se preparó en la metodología Malt 4 (Extracto de malta). Se filtró hasta obtener un mosto sin sedimentos de malta, se utilizó un potenciómetro previamente calibrado (marca HANNA modelo HI5221-01). Se introdujo el electrodo

en el mosto sin tocar las paredes del matraz, hasta que la lectura se estabilizó y se registró el valor para cada tratamiento (Figura No. 13).

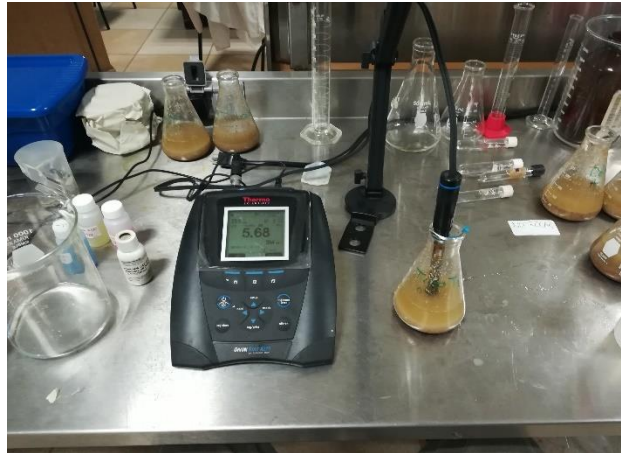


Figura No. 13. Determinación del pH de los mostos elaborados con las maltas.

6.6.7. Extracto fermentable por la levadura

Se determinaron los grados plato ($^{\circ}$ P) de los mostos de cada uno de los tratamientos antes de la fermentación con un picnómetro. Posteriormente la fermentación se realizó en matraces Erlenmeyer de 500 mL a 20 $^{\circ}$ C. Para lo cual se colocaron 5 g de levadura de cerveza comprimida a 250 mL de mosto de cada tratamiento. Se sellaron con un tapón de fermentación y se agitaron a intervalos de 2 h durante 48 h. Pasadas esas horas, se filtró el mosto fermentado para separarlo de la levadura. Se recircularon los primeros 30 mL y se determinaron nuevamente los grados plato ($^{\circ}$ P) (Wort 5A, ASBC 2004).

El grado real de fermentación se determinó sustrayendo el valor de los grados plato (°P) después de la fermentación a los grados plato (°P) antes de la fermentación, aplicando la siguiente fórmula.

$$\text{Grado de fermentación real (AAL)} = \frac{100 \times (\text{°PAF} - \text{°PDF})}{\text{°PAF}} + \frac{1}{1 - (0.005161 \times \text{°PDF})}$$

Donde:

°PAF= Grados plato del mosto antes de la fermentación.

°PDF= Grados plato después de la fermentación.

0.005161= Factor de corrección de pérdida de masa.

6.6.8. Proteína soluble del mosto

Se colocaron 10 mL de mosto en matraces Kjeldahl y se realizó por digestión ácida en un equipo Kjeldahl (Figura No. 14). La respectiva valoración del nitrógeno de las muestras con ácido clorhídrico al 0.01N, con la siguiente ecuación y un factor de conversión de 6.25 (Wort 10A, ASBC 2004).

$$\% \text{Proteína as - is} = \frac{(\text{mL } 0.01\text{N HCL} \times \text{N} \times \text{n})}{(\text{M} \times 100)} \times 6.25$$

$$\% \text{Proteína BS} = \frac{\% \text{Proteína as - is} \times 100}{100 - \% \text{Humedad}}$$

Donde:

mL 0.01N HCL= mL HCL 0.01N gastados en la valoración.

N= Normalidad del ácido clorhídrico (0.01N).

n= Peso molecular del nitrógeno (14.007 g/mol).

M= Peso de la muestra en mg.



Figura No. 14. Determinación de la proteína soluble de los mostos elaborados con las maltas.

6.6.9. Viscosidad del mosto

Se calculó la gravedad específica del mosto y la determinación de la viscosidad. Lo cual se realizó a 20 °C con un viscosímetro Oswald. Se colocaron 10 mL de agua destilada y de mosto, se tomó el tiempo en segundos que tardó en fluir el agua destilada y el mosto desde la parte superior a la parte inferior del viscosímetro. El cálculo se realizó con la siguiente fórmula (Wort 13, ASBC 2004).

$$= \frac{\text{Tiempo de fluides de mosto a } 20^{\circ}\text{C}}{\text{Tiempo de fluides de agua a } 20^{\circ}\text{C}} \times \text{Gravedad específica del mosto} \times 1.002$$

Donde:

1.002: Viscosidad del agua a 20 °C en mPa·s.

6.7. Análisis estadístico

Se usó un diseño completamente aleatorio. Se utilizó la rampa de secado indicada por Muñoz-Insa *et al.* (2013), y se aplicaron tres tratamientos para la temperatura final de secado.

Tratamiento 1 temperatura de secado final a 70 °C, 5 h.

Tratamiento 2 temperatura de secado final a 80 °C, 5 h.

Tratamiento 3 temperatura de secado final a 90 °C, 5 h.

En donde se tomó como factor la temperatura final de secado y las variables respuesta fueron las características fisicoquímicas de granos y maltas. Cada análisis se determinó por triplicado:

1. Humedad del grano (%)
2. Proteína del grano (%)
3. Germinación del grano (%)
4. Humedad de malta (%)
5. Harinosidad de malta (%)
6. Proteína de malta (%)

7. Extracto de malta (%)
8. Poder diastásico (°L)
9. pH del mosto
10. Proteína soluble del mosto (%)
11. Extracto fermentable por la levadura (%)
12. Viscosidad del mosto (mPa·s)

Los resultados obtenidos se analizaron utilizando un ANOVA simple al 95% de confianza y prueba de Tukey, cuando se presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). Se empleó el paquete estadístico Statgraphics Centurion.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Caracterización de los granos

Los resultados para humedad observados para triticale, trigo y cebada fueron $10.76\% \pm 0.11\%$, $11.56\% \pm 0.15\%$ y $11.46\% \pm 0.20\%$, respectivamente. Todos se encontraron por debajo del valor mínimo óptimo indicado por Figueroa, (1985) y por Arias, (1991), del 12%. Dicho valor, es decisivo para lograr el almacenamiento del grano por periodos prolongados y conservar el poder germinativo del mismo. Solo el centeno tuvo un valor mayor $12.36\% \pm 0.35$, pero muy cercano al óptimo, por lo que se decidió maltear todos los granos tal cual estaban (Anderson, 2000). En relación con el porcentaje de proteína, la cebada tuvo $12.27\% \pm 0.20$ y el trigo $12.10\% \pm 0.10$ lo que está acorde con Stewart, (2013) quien indicó dicho valor como óptimo de 12.5%. El centeno tuvo $10.70\% \pm 0.17$, acercándose al óptimo. Para triticale se obtuvo un valor de $13.73\% \pm 0.23$, Anderson, (2000) y Hough, (1990), mencionaron que con este valor en cebada se originaban maltas con alto poder enzimático, pero con un bajo contenido de extracto. Aunado a lo anterior, Arias, (1991), mencionó que 14% de proteína puede provocar problemas en la germinación durante el proceso de malteo. No obstante, en la presente investigación, a pesar de que el triticale tuvo un valor alto, pero menor a 14% y no presentó dificultades durante la germinación. La norma NMX-FF-043-SCFI-2003 indica un porcentaje de germinación mínimo de 85% para someter a los granos a un proceso de malteo. Los 4 cereales estuvieron por encima de dicho valor, lo que permitió un malteo adecuado. Los análisis descritos se presentan en el cuadro No. 3.

Cuadro No. 3. Análisis previos a los cereales

Cereal	Proteína %	Humedad %	Germinación %
	Media ± DS	Media ± DS	Media ± DS
Cebada	12.27 ± 0.20 b	11.46 ± 0.20 b	94 ± 0.57 c
Triticale	13.73 ± 0.23 c	10.76 ± 0.11 a	87 ± 2.08 a
Trigo	12.10 ± 0.10 b	11.56 ± 0.15 b	91 ± 1.52 b
Centeno	10.70 ± 0.17 a	12.36 ± 0.35 c	86 ± 1.00 a

*Los resultados en la tabla son las medias ± la desviación estándar.

*Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

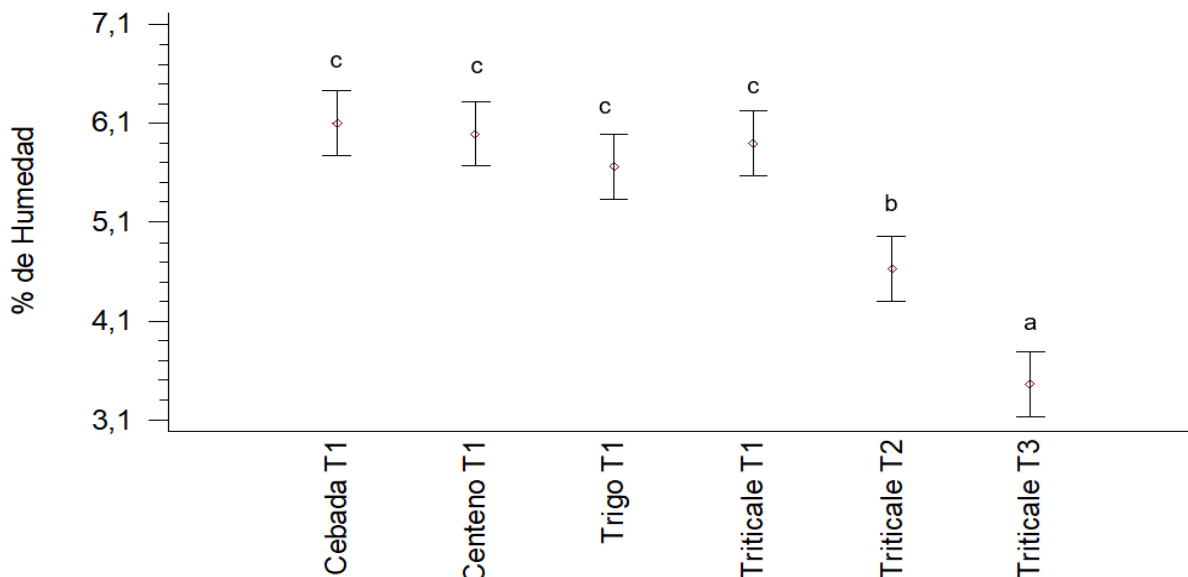
7.2. Caracterización de las maltas

Los resultados de los análisis realizados a las maltas del triticale, cebada, trigo y centeno se muestra en el cuadro No. 4.

7.2.1. Humedad de malta (%)

El contenido de humedad de las maltas (Gráfica No. 1) fue de 5.66% a 6.10%, que coincide con las maltas laguer estándar (4.5% a 6%) bajo las mismas condiciones de secado (O'Rourke, 2002; Hough, 1990). Skendi y Papageorgiou, (2018) reportaron porcentajes de humedad entre 5.63% y 7.45%, para maltas de cebada, a un presecado de 40-45 °C y un secado a 80 °C, 90 °C y 100 °C, ambos (presecado y secado) 6 horas, aunque son condiciones diferentes a las utilizadas en la presente investigación. Las maltas de triticale secadas a 80 °C y 90 °C, obtuvieron valores más bajos (4.63%±0.15 y 3.46%±0.05, respectivamente) como indicó O'Rourke, (2002), para maltas ale oscuras estándar (2-3%). Grujic y Pejin, (2007) reportan porcentajes de humedad de 4.3-4.6% en maltas de triticale, en una sola fase de secado, lo cual fue similar a los presentes resultados.

Gráfica No. 1. Porcentaje de humedad de maltas base y oscuras.



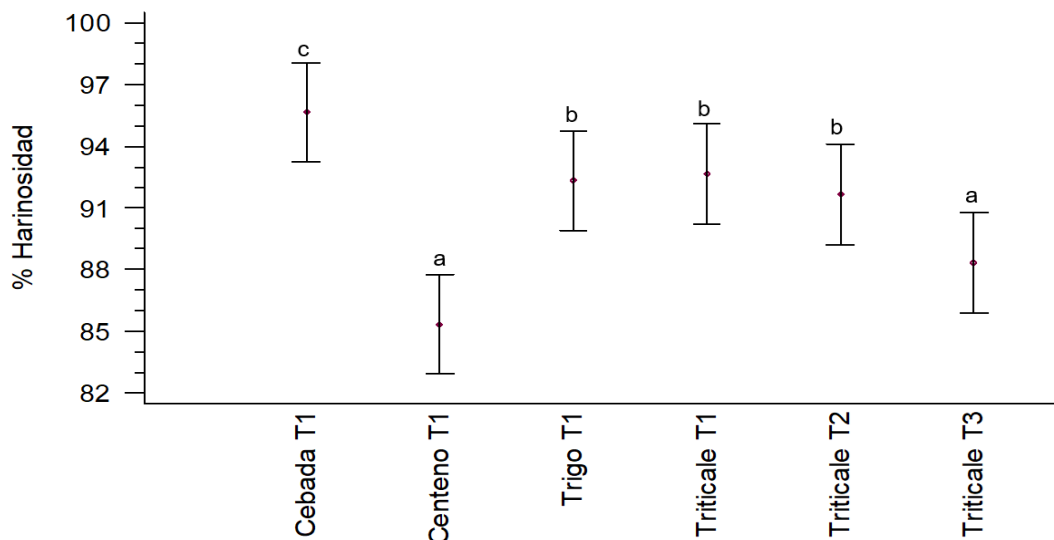
*T1: Malta (Base) secada a 70°C; T2: Malta (Oscura) secada a 80°C, T3; Malta (Oscura) secada a 90°C.

7.2.2. Harinosidad de malta (%)

Es conveniente que durante el malteo, el almidón del grano de cebada tome una consistencia harinosa. El valor deseable de harinosidad en las maltas de cebada es de 81-100%, esto permite que la malta sea fácil de moler cuando se proceda al proceso de maceración. Mientras una malta tenga un porcentaje de harinosidad más alto su valor se conservará sin penalizaciones (Arias 1991). Los resultados de harinosidad para las maltas claras a 70°C estuvieron en un rango de 85-95% siendo la malta de centeno la única que presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) y tuvo el menor porcentaje con 85%. La malta de cebada tuvo el mayor porcentaje con

95%, seguida por la de triticale y trigo ambas con 92%. Mientras que para las maltas oscuras de triticale no se presentaron diferencias, se tuvo que a 80 °C fue de 91% y a 90 °C de 88%. Arias, (1991) hizo una clasificación de la harinosidad de la malta en la que indica porcentajes de granos harinosos, vitreos y semivitreos, en donde un porcentaje de harinosidad superior a 81% se considera como muy bueno, de 71-80% bueno, 65-70% Aceptable y menos de 65% insuficiente, los granos que están en las categorías de vitreos y semivitreos suelen descartarse. Por lo que todas las maltas de la presente investigación se encontraron en un porcentaje de harinosidad muy bueno, lo que indicó que el malteado se llevó a cabo de manera adecuada. Se observaron diferencias significativas cuando la temperatura aumento de 70 °C a 90 °C, ya que el valor descendió. Para esta variable el triticale no tuvo diferencias con la cebada y mostro tendencia hacia el trigo (Gráfica No. 2).

Gráfica No. 2. Porcentaje de harinosidad de maltas base y oscuras.



*T1: Malta (Base) secada a 70°C; T2: Malta (Oscura) secada a 80°C, T3; Malta (Oscura) secada a 90°C.

7.2.3. Proteína de malta (%)

El valor de proteína en maltas base de cebada va de 10.50% a 12.30%, este valor es inferior que el del grano de cebada que se encuentra en un rango de 11.00% a 12.50%, esto puede deberse a las pérdidas que ocurren durante el malteo (Edney y Izydorczyk, 2003; Stewart, 2013). Los resultados de proteína para grano se encuentran en el cuadro No. 3 y para las maltas en el cuadro No. 4. El triticale perdió un 11.15% de proteína del grano a la malta ($13.73\% \pm 0.23$ a $12.23\% \pm 0.32$, respectivamente) La cebada tuvo una pérdida de 9.54% ($12.26\% \pm 0.20$ a $11.13\% \pm 0.11$, respectivamente). El trigo tuvo una pérdida de 7.44% ($12.10\% \pm 0.1$ a $11.16\% \pm 0.11$, respectivamente), y el centeno tuvo una pérdida de 8.42% ($10.70\% \pm 0.17$ a $9.80\% \pm 0.17$, respectivamente). En orden descendente, el triticale fue el grano que perdió más proteína por el malteo, luego la cebada, centeno y el que menos pérdida tuvo fue el trigo. Esto es contrario a lo sugerido por Arias, (1991), ya que indicó un porcentaje de pérdida del 0.5%. Sin embargo, este valor puede corresponder a una malta caramelo (en donde es menos importante la presencia de enzimas, por lo tanto, la modificación se reduce); mientras que en las maltas base (diastásicas), con más tiempo de germinación se muestra mayor oportunidad de activación de las enzimas y por consecuencia mayores pérdidas por malteo (MacLeod y Evans, 2016). Stewart, (2013) mencionó que en maltas base de cebada las pérdidas típicas por el malteo son de 6% a 12%, como se encuentran los valores obtenidos en la presente investigación, y que debe haber un valor adecuado para el crecimiento de la levadura en la fermentación de 10.5-12.3%. Finalmente, en la

presente investigación se infirió que, aunque hubo una pérdida de proteína del grano durante el mateo, que fue mayor en triticale (13.7%) que, en el resto de los cereales, dicho parámetro al final del proceso de malteo tiene que ver más con trigo y con cebada que con el centeno. Sin embargo, Stewart, (2013) indicó que el valor de proteína sugerido para el óptimo trabajo de las levaduras va de 10.5% a 12.3%, como fueron los obtenidos en la presente investigación.

Respecto al porcentaje de proteína de la malta oscura de triticale a 80 °C (11.80%±0.10) y 90 °C (11.63%±0.15) no tuvieron diferencias significativas ($P \geq 0.05$), sin embargo, con la de 70°C (12.23%±0.32%) si hubo diferencias ($P \leq 0.05$). En los resultados obtenidos se observó una tendencia en tanto al aumento de la temperatura una disminución de la proteína. Contrario a esto, Skendi y Papageorgiou, (2018) indicaron que no existieron diferencias en el contenido de proteína por efecto de la temperatura en un secado entre 80-100 °C.

7.2.4. Proteína soluble del mosto (%)

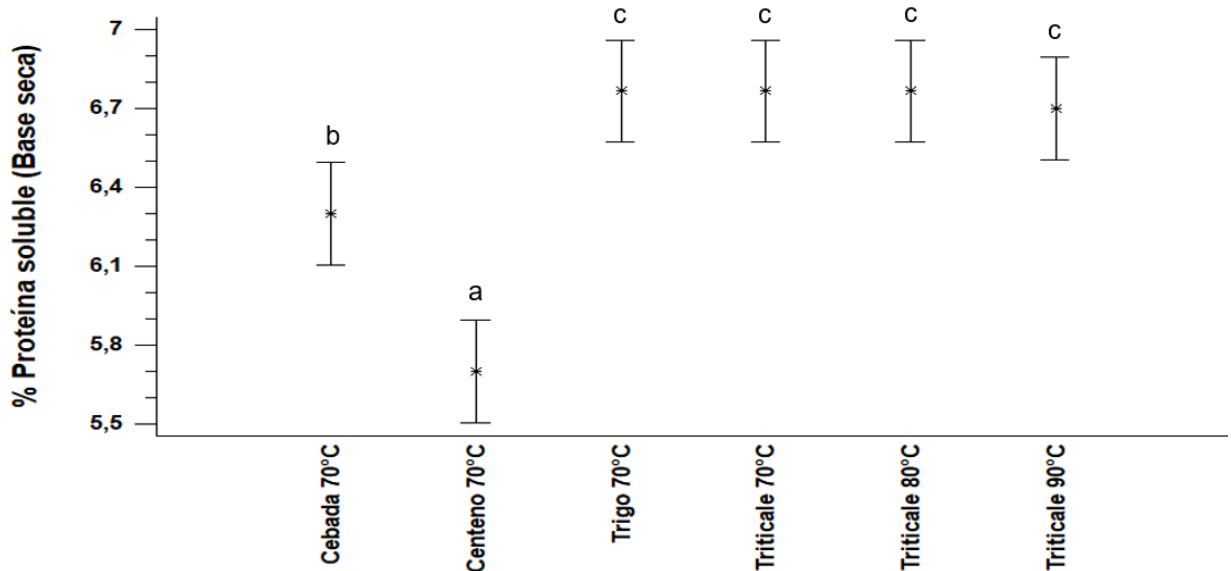
La proteína soluble es la proteína de la malta diluida en el mosto, compuesta en su mayoría de péptidos de cadena corta y aminoácidos. Los cuales deben ser de 4.90-5.60% (Stewart, 2013). Los valores encontrados en la presente investigación fueron de 5.7% a 6.76%. El valor más bajo fue en la malta de centeno (5.70%±0.10), y el más alto, en la de triticale (6.76%±0.11). El mosto de triticale mostró diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con respecto al de cebada (6.30%±0.10) y con el de centeno, pero no tuvo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con el de trigo (6.76%±0.15). Todos

los valores descritos se encontraron por encima del rango promedio reportado. La importancia de esta variable radica en que la composición de la proteína soluble tiene aminoácidos de diferente peso molecular que van de mediano a bajo. La proteína soluble de mediano peso molecular tiene la función de dar cuerpo y estabilidad de la espuma a la cerveza final, mientras que la de bajo peso molecular contiene a los aminoácidos que nutren a la levadura en el proceso de fermentación del mosto (Arias 1991; Stewart, 2013; Guzmán-Ortíz *et al.* 2018). Stewart, (2013), Ambriz-Vidal, (2015) y Guzmán-Ortíz *et al.* (2018), mencionan que un valor de proteína entre 4.9-5.6% es de vital importancia para el crecimiento de la levadura en el mosto. Valores de proteína soluble elevados podrían aumentar la fracción de alto peso molecular, que, al precipitarse, puede causar enturbiamiento de la cerveza (O'Rourke, 2002; Blanchflower y Briggs, 1998; Grujic y Pejin, 2007), también se sabe que el sabor y aroma (flavor) de la cerveza pueden verse influenciados negativamente por la producción elevada de alcoholes superiores (alcoholes de fusel). Que a su vez pueden incrementarse debido a un alto contenido de proteína soluble, y causar en la cerveza un sabor característico a solvente (Loviso y Libkind, 2019). El porcentaje de proteína soluble de la presente investigación fue mayor al rango especificado anteriormente. Esto pudo deberse a la variedad de triticale usada en el proceso de malteo, y podría representar una ventaja ya que, un porcentaje mayor de proteína soluble en el mosto, otorga a la levadura más nutrientes a disposición y los compuestos de mediano y bajo peso molecular podrían dar a la cerveza característica de calidad específicas. Por lo tanto, habría que llevar

a cabo la elaboración de la cerveza con las maltas de la presente investigación para comprobar si sucede el efecto de precipitación de proteína o una concentración elevada de alcoholes superiores que provoquen un impacto negativo sobre el sabor y aroma.

Las maltas oscuras secadas a 80 °C y 90 °C (6.7%) no tuvieron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) respecto a la malta secada a 70 °C. Lo que sugirió que el contenido de proteína que se solubilizó en el mosto no fue afectado por la temperatura de secado. De acuerdo al resultado de esta variable, el triticale mostró una tendencia hacia trigo más que al centeno (Gráfica No. 3).

Gráfica No. 3. Porcentaje de proteína soluble de maltas base y oscuras.



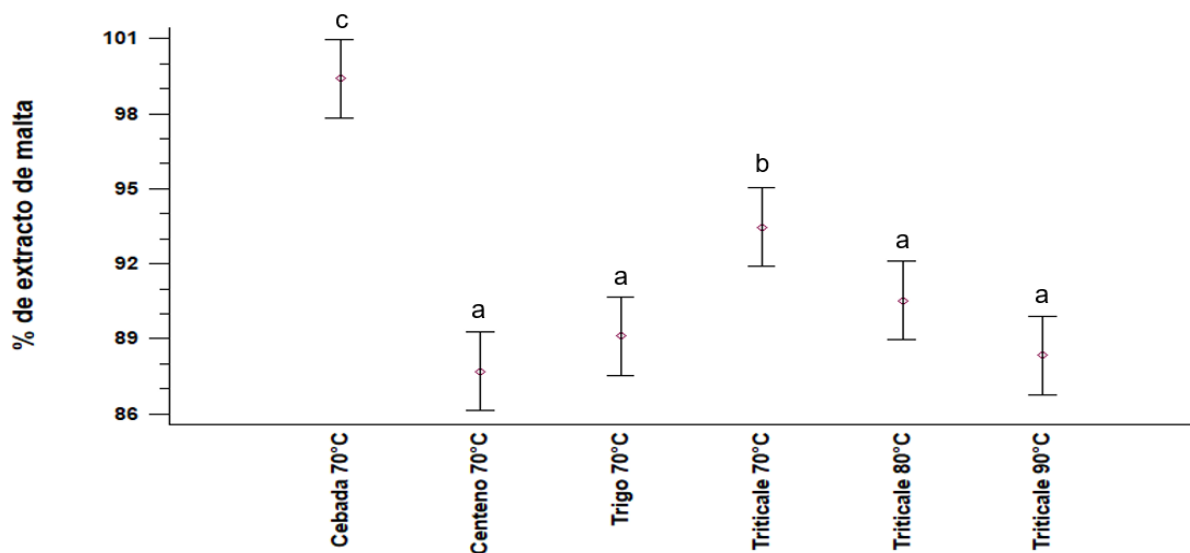
*T1: Malta (Base) secada a 70°C; T2: Malta (Oscura) secada a 80°C, T3; Malta (Oscura) secada a 90°C.

7.2.5. Extracto de malta (%)

El porcentaje de extracto de una malta está compuesto de sustancias hidrolizadas derivadas de la actividad enzimática (azúcares fermentables y proteína soluble) (Lersrutaiyotin *et al.* 1991; Briggs *et al.* 2004). El rango de valores en la presente investigación fue de 88.33-99.40%. El porcentaje de extracto de la malta de triticale (93.46%±1.15) no tuvo diferencias significativas ($P \geq 0.05$) con la malta de trigo (89.10%±0.91), pero si con la de centeno (87.70%±0.40) y cebada (99.40%±0.52), a 70°C. Resultados similares fueron reportados por Lersrutaiyotin *et al.* (1990) y Guzmán-Ortíz *et al.* (2018), quienes evaluaron diferentes variedades de triticale, trigo, centeno y cebada y encontraron valores de extracto de malta, en triticale de 90.0%, centeno 90.3%, trigo 85.0% y cebada de 83.0%. Como puede notarse en la investigación descrita, el extracto de malta de triticale, tiene que ver más con el centeno que con el trigo, contrario a lo que ocurrió en la presente investigación donde el triticale tuvo una tendencia hacia el trigo. A pesar de lo dicho los valores obtenidos en todos los cereales fueron parecidos, excepto el de cebada el cual fue notablemente mayor, se sugiere que los cambios podrían estar relacionados con la variedad de los cereales utilizados. Para las maltas de triticale secadas a 90 °C y 80 °C, el valor fue de 88.33% y 90.53%, respectivamente, y presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con la malta secada a 70°C (93.46%±1.15). Cabe recordar que se considera una malta base cuando es secada hasta 70 °C, por conservar la actividad enzimática o en algunos casos evitando la excesiva generación de compuestos de pardeamiento (reacciones de Maillard). Arriba de esta temperatura

ya se considera una malta oscura (Anderson, 2000). Los resultados mostraron claramente un descenso de esta variable a 80 °C (90.53%±2.31), considerando que las temperaturas de inhibición de α -amilasa (También llamada diastasa) y β -amilasa son 80 °C y 70 °C (Callejo, 2002). Esto probablemente se relaciona con la finalización del proceso de conversión del almidón a azúcares fermentables, ya que a dichas temperaturas las enzimas fueron inactivadas (Skndi y Papageorgiou, 2018). Resultados similares a los presentados en la presente investigación fueron obtenidos por Skendi y Papageorgiou, (2018), quienes reportaron un descenso en el porcentaje de extracto de maltas oscuras de cebada de 77.9% a 64.91% cuando se aumentó la temperatura de secado de 80 °C a 100 °C. Finalmente, la malta base de triticale en esta variable tuvo una tendencia hacia el trigo más que al centeno, aunque entre trigo y centeno no existieron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) (Gráfica No. 4).

Gráfica No. 4. Porcentaje de extracto de maltas base y oscuras.



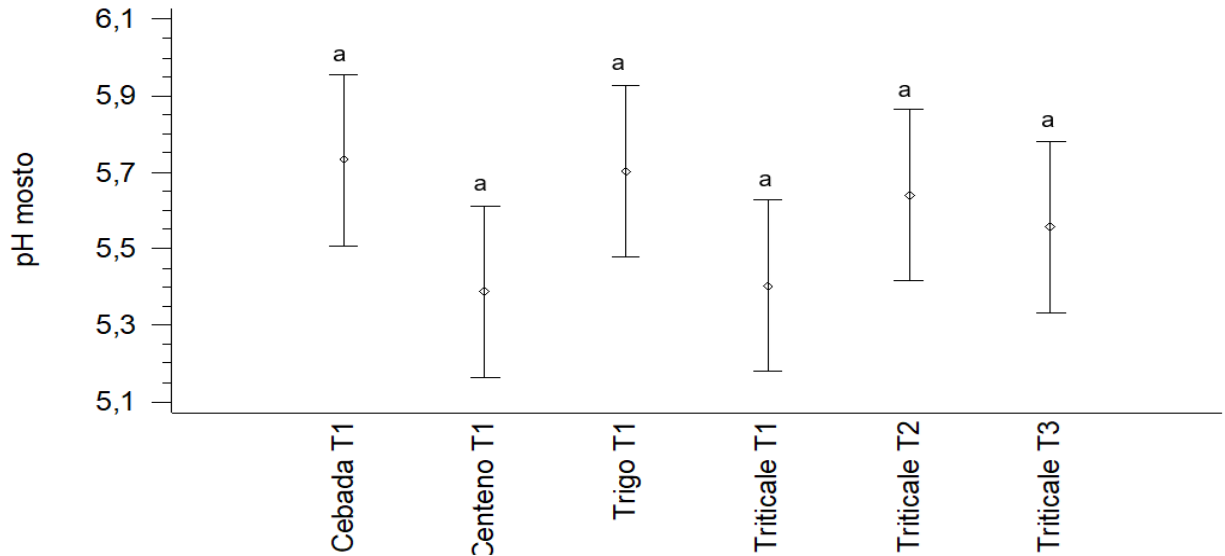
*T1: Malta (Base) secada a 70°C; T2: Malta (Oscura) secada a 80°C, T3; Malta (Oscura) secada a 90°C.

7.2.6. pH del mosto

El pH es determinante para regular la actividad enzimática en el mosto ya que si este no se encuentra en un rango entre 5.0 a 6.0, las enzimas no realizarán la conversión del almidón a azúcares fermentables (O'Rourke, 2002; Guerra *et al.* 2009). El rango de pH obtenido en la presente investigación (Gráfica No. 5), fue 5.4-5.7. En los mostos de los cuatro cereales de la presente investigación secados a 70°C no hubo diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre ellos. Los valores obtenidos fueron, 5.38 ± 0.15 en centeno, 5.40 ± 0.36 para triticale, 5.70 ± 0.04 en el trigo, 5.73 ± 0.05 de cebada. El pH del triticale mostró una mayor tendencia a parecerse al centeno que al trigo independientemente, de que los tres cereales se encontraron

dentro del rango óptimo de pH que permitirá el buen desarrollo de la actividad enzimática (Guerra *et al.* 2009). Por su parte en las maltas de triticale secadas a diferentes temperaturas, no existieron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) entre los tratamientos para esta variable, presentando valores de 70 °C/5.40±0.36, 80 °C/5.64±0.01 y 90 °C/5.55±0.03. Lo anterior, indicó que el pH no se vio afectado significativamente por la temperatura de secado, ya que se aproximó al sugerido por Hough, (1990) y Grujic y Pejin, (2007). Dichos valores se relacionan con un rango de pH óptimo entre 5.2 y 5.7 para enzimas amilolíticas, principalmente β y α amilasa, responsables de terminar con la conversión del almidón de la malta en azúcares como la maltosa que posteriormente serán fermentados por la levadura en el proceso de fabricación de cerveza (Hough, 1990).

Gráfica No. 5. pH del mosto de maltas base y oscuras.



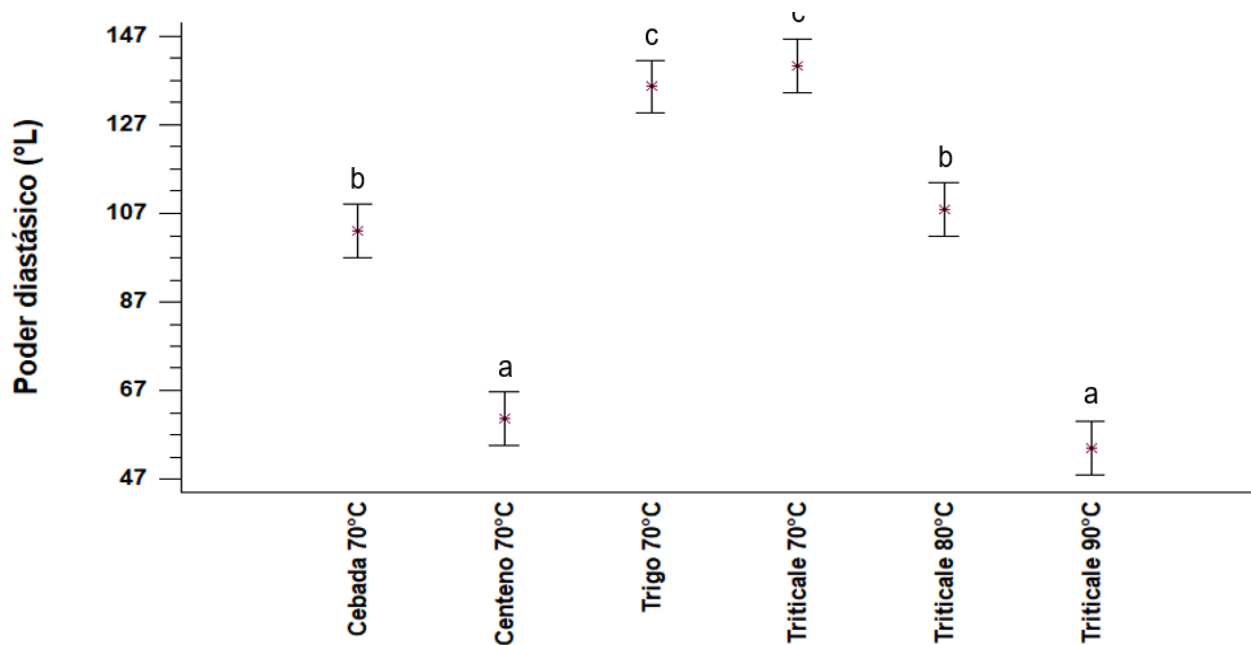
*T1: Malta (Base) secada a 70°C; T2: Malta (Oscura) secada a 80°C, T3; Malta (Oscura) secada a 90°C.

7.2.7. Poder diastásico

El poder diastásico es la capacidad enzimática de la malta, es decir, el potencial que tiene esta para convertir por sí misma su almidón en azúcares fermentables por medio de las enzimas, α -amilasa (También llamada diastasa) y β -amilasa, α -glucosidasa, dextrinasa límite y maltasa, principalmente. En la industria de la malta cervecera, las dos primeras son las más importantes ya que de ellas depende más del 99% del poder diastásico de la malta. Las maltas de cebada base (Laguer 100 °L-125 °L) tienen mayor poder diastásico que las oscuras (Ale 35 °L-40 °L) (Ghasemi *et al.* 2017; O'Rourke, 2002). En la presente investigación el rango de valores obtenido fue de 54-144.33 °L (Gráfica No. 6), en relación a las maltas a 70

°C La malta de centeno tuvo el valor más bajo ($60.66^{\circ}\text{L}\pm 2.88$), seguida por la de cebada ($103.0^{\circ}\text{L}\pm 3.60$), trigo ($135.66^{\circ}\text{L}\pm 1.15$), y con el valor más alto la malta de triticale ($140.33^{\circ}\text{L}\pm 7.37$), Dichos valores coincidieron con Lersrutaiyotin *et al.* (1991) para triticale. Se sugiere que la variedad de cada cereal influyó en dicha variable. Las maltas oscuras de triticale (Cuadro No. 4), presentaron un poder diastásico significativamente menor ($P\leq 0.05$) comparadas con la malta base ($70^{\circ}\text{C}/144.33^{\circ}\text{L}\pm 7.37^{\circ}\text{L}$, $80^{\circ}\text{C}/108.0^{\circ}\text{L}\pm 5.00^{\circ}\text{L}$, $90^{\circ}\text{C}/54.0^{\circ}\text{L}\pm 3.60^{\circ}\text{L}$) (Gráfica No. 6). Los valores mostrados concuerdan con la explicación que dan Gebremariam *et al.* (2012), en relación a que existe una desactivación de enzimas amilolíticas después de 70°C . La malta secada a 90°C (54°L) tuvo un valor similar a las maltas oscuras reportado por O'Rourke, (2002) ($35\text{-}40^{\circ}\text{L}$). Gebremariam *et al.* (2012) realizaron un estudio en malta de trigo Teff (*Eragrostis tef*) con secado a 65° y 80°C , encontrando que la actividad enzimática se redujo para α -amilasa de 68 U/g a 42 U/g, β -amilasa 440 U/g a 406 U/g y dextrinasa límite de 1,072 U/kg a 736 U/kg. Lo que indicó que el poder diastásico se reduce por efecto de la temperatura, como en la presente investigación. Respecto al poder diastásico del triticale ($140.33^{\circ}\text{L}\pm 7.37$), éste se relacionó más con el trigo ($135.66^{\circ}\text{L}\pm 1.15$) que con el centeno ($60.66^{\circ}\text{L}\pm 2.88$). Lo que coincidió con los valores obtenidos por Lersrutaiyotin *et al.* (1991) quienes proponen que el triticale (197°L) tiene valores con tendencia hacia el trigo (148°L) más al centeno (93°L).

Gráfica No. 6. Poder diastásico de maltas base y oscuras.



*T1: Malta (Base) secada a 70°C; T2: Malta (Oscura) secada a 80°C, T3; Malta (Oscura) secada a 90°C.

7.2.8. Extracto fermentable por la levadura (%)

El extracto fermentable son los azúcares fermentables (glucosa y maltosa) en el mosto accesibles para la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) (Narziss, 1999; Briggs, 1998). El valor para la malta de cebada fue 89.60%±1.15, triticale 74.40%±0.45, trigo 68.60%±1.04 y centeno 46.60%±1.36. Todos presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Cuadro No. 4). Arias, (1991) realizó una clasificación de extracto fermentable, siendo como muy bueno con 82%, bueno con 81.9%-80.6%, aceptable con 80.5%-79% e insuficiente de menor a 79%. Los resultados obtenidos sugirieron a la malta de cebada como muy buena y las demás

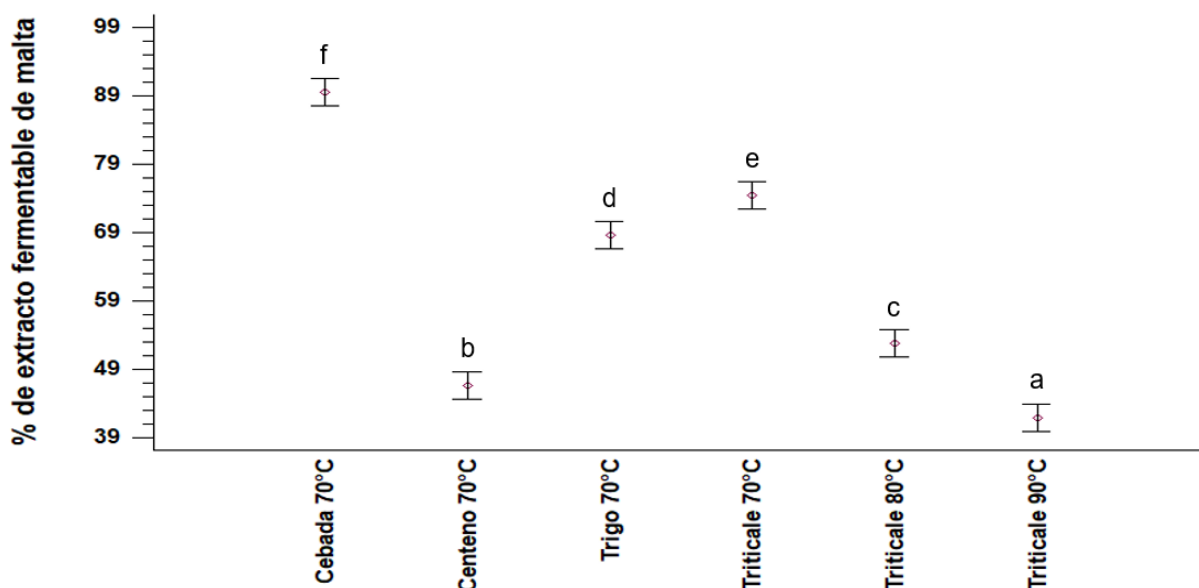
como insuficientes. Contrario a esto, Guzmán-Ortíz *et al.* (2018), obtuvieron valores en el rango de insuficientes (menos de 79.1%) en extracto de malta es decir 77% para mosto de cebada y 72% para mosto de triticale.

De acuerdo con Arias, (1991) los resultados de la malta triticale secada a 70 °C de la presente investigación, se considera como insuficiente para la nutrición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Aunado a lo anterior, se ha reportado que contenidos de proteína superiores al óptimo en la cebada, se relacionan con maltas de alto poder diastásico, pero con extracto fermentable insuficiente (Anderson, 2000; y Hough, 1990). De acuerdo a Stewart, (2013) el triticale presentó un porcentaje de proteína inicial (13.73%) mayor al óptimo (12.5%). Lo que le permitió un poder diastásico más alto, pero un contenido de extracto fermentable insuficiente.

En relación con las temperaturas de secado de triticale, las maltas oscuras tuvieron valores muy bajos de extracto fermentable (Gráfica No. 7), es decir, a 80 °C fue de 52.90%±2.02% y a 90°C fue de 41.90%±2.00%. Skendi y Papageorgiou, (2018), indicaron que en maltas de cebada secadas a 80 °C y 100 °C obtuvieron un contenido de azúcares entre 20 g/L a 11 g/L, respectivamente, y que un aumento en la temperatura provocó la desactivación parcial de las enzimas amilolíticas y, por lo tanto, la cantidad de azúcares fermentables producidos. Muñoz-Insa *et al.* (2013) reportaron un extracto fermentable entre 75.7-82.2%, en malta de Espelta (*Triticum Spelta* L.) secada a 80 °C, este valor es similar al obtenido en triticale de la presente

investigación ($74.40\% \pm 0.45$). Los valores de la presente investigación, sugieren así que esta propiedad podría provenir del trigo.

Gráfica No. 7. Porcentaje de extracto fermentable por la levadura de maltas base y oscuras.



*T1: Malta (Base) secada a 70°C; T2: Malta (Oscura) secada a 80°C, T3; Malta (Oscura) secada a 90°C.

7.2.9. Viscosidad del mosto

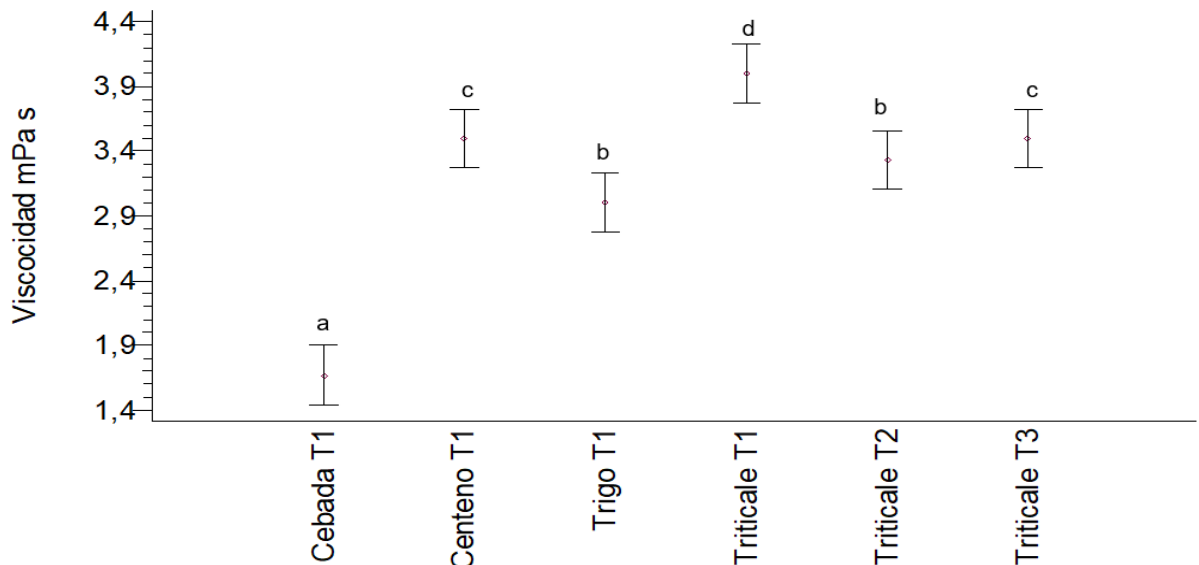
Es un punto de interés crucial que se considera en la elaboración de un producto como la cerveza. Una viscosidad elevada es indeseable ya que dificulta el procesamiento del mosto, sobre todo la filtración. El rango óptimo de viscosidad en maltas base de cebada es de 1.38 a 1.48 mPa·s (Stewart, 2013). Para la presente investigación los resultados indicaron un rango de viscosidad en el mosto de 1.6 a 4.00 mPa·s (Cuadro No. 4). La malta de cebada ($1.66 \text{ mPa}\cdot\text{s} \pm 0.28$), seguida por las

maltas de trigo ($3.0 \text{ mPa}\cdot\text{s}\pm 0.00$), centeno ($3.50 \text{ mPa}\cdot\text{s}\pm 0.00$) y triticale ($4.0 \text{ mPa}\cdot\text{s}\pm 0.00$). De acuerdo a Grujic *et al.* (2009) y Grujic y Pejin, (2007), los valores obtenidos en la presente investigación son muy elevados excepto cebada, ya que ellos proponen que en mostos de triticale con malta de cebada, los valores entre $1.8 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ y $2.3 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ son altos para viscosidad. Dichos valores se asociaron a un alto contenido de nitrógeno soluble y β -Glucanos, Los valores típicos de viscosidad en mostos de malta de cebada propuestos fueron de $1.5 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ a $1.6 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Lo que coincide con el valor obtenido para cebada ($1.66 \text{ mPa}\cdot\text{s}$) en la presente investigación. Así, en base a la viscosidad del triticale en la presente investigación, se sugiere como no viable (Grujic *et al.* 2010; Pejin *et al.* 2013).

En relación a las temperaturas de secado las maltas de triticale secadas a $80 \text{ }^\circ\text{C}$ y $90 \text{ }^\circ\text{C}$ tuvieron valores de $3.33 \text{ mPa}\cdot\text{s}\pm 0.28$ y $3.50 \text{ mPa}\cdot\text{s}\pm 0.00$ respectivamente (Gráfica No. 8), y a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ de $4.0 \text{ mPa}\cdot\text{s}\pm 0.00$. Los resultados indicaron que existió una tendencia a que la viscosidad disminuya cuando se aumenta la temperatura (Gráfica No. 8). Skendi y Papageorgiou, (2018) mencionaron que temperaturas de secado de $80 \text{ }^\circ\text{C}$, $90 \text{ }^\circ\text{C}$ y $100 \text{ }^\circ\text{C}$, influyeron en la viscosidad de los mostos de malta de cebada de $3.00 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ a $4.00 \text{ mPa}\cdot\text{s}$, siendo la temperatura de $90 \text{ }^\circ\text{C}$ la que presentó el valor más bajo ($1.2 \text{ mPa}\cdot\text{s}$) y a 100°C aumentó a $4.00 \text{ mPa}\cdot\text{s}$. Finalmente, este efecto pudo deberse a una posible resistencia de desactivación parcial de las enzimas como la β -glucanasa a $90 \text{ }^\circ\text{C}$, y que el presecado ($40\text{-}45 \text{ }^\circ\text{C}$) antes del secado pudo estabilizar a dichas enzimas. No obstante, es importante hacer más estudios ya que la estabilidad térmica y actividad de las enzimas puede ser difícil de

predecir. Se conoce que, una elevada viscosidad es un problema para los parámetros de calidad principalmente. Como porcentaje de extracto de malta, fermentación del mosto y poder diastásico (Blanchflower y Briggs, 1991). Se puede concluir que el aumento de temperatura en maltas de triticale de 70 °C a 90 °C, además de originar una elevada viscosidad, afectaron parámetros importantes como el % de extracto de malta, % de extracto fermentable y poder diastásico.

Gráfica No. 8. Viscosidad de maltas base y oscuras.



*T1: Malta (Base) secada a 70°C; T2: Malta (Oscura) secada a 80°C, T3; Malta (Oscura) secada a 90°C.

Cuadro No. 4. Análisis fisicoquímicos de las maltas base y oscuras.

Malta	Humedad %	Proteína %	Extracto de malta %	Poder diastásico °L	pH	Extracto fermentable %	Proteína soluble en el mosto %	Viscosidad del mosto mPa.s
	Media ± DS	Media ± DS	Media ± DS	Media ± DS	Media ± DS	Media ± DS	Media ± DS	Media ± DS
Cebada 70°C	6.10 ± 0.36 c	11.13 ± 0.11 b	99.40 ± 0.52 c	103.00 ± 3.60 b	5.73 ± 0.05 a	89.60 ± 1.15 f	6.30 ± 0.10 b	1.66 ± 0.28 a
Centeno 70°C	6.00 ± 0.10 c	9.80 ± 0.17 a	87.70 ± 0.40 a	60.66 ± 2.88 a	5.38 ± 0.15 a	46.63 ± 1.36 b	5.70 ± 0.10 a	3.50 ± 0,01 c
Trigo 70°C	5.66 ± 0.11 c	11.16 ± 0.11 b	89.10 ± 0.91 a	135.66 ± 1.15 c	5.70 ± 0.04 a	68.60 ± 1.04 d	6.76 ± 0.15 c	3.00 ± 0,01 b
Triticale 70°C	5.90 ± 0.40 c	12.23 ± 0.32 d	93.46 ± 1.15 b	140.33 ± 7.37 c	5.40 ± 0.36 a	74.40 ± 0.65 e	6.76 ± 0.11 c	4.00 ± 0,01 d
Triticale 80°C	4.63 ± 0.15 b	11.80 ± 0.1 c	90.53 ± 2.31 a	108.00 ± 5.00 b	5.64 ± 0.01 a	52.90 ± 2.02 c	6.76 ± 0.15 c	3.33 ± 0.28 b
Triticale 90°C	3.46 ± 0.05 a	11.63 ± 0.15 c	88.33 ± 0.20 a	54.00 ± 3.60 a	5.55 ± 0.02 a	41.90 ± 2.00 a	6.70 ± 0.20c	3.50 ± 0,01 c

*Los resultados en la tabla son las medias ± la desviación estándar

*Letras diferentes en las columnas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$).

*T1: Malta (Base) secada a 70°C en el escalón final de la rampa de temperatura; T2: Malta (Oscura) secada a 80°C, T3; Malta (Oscura) secada a 90°C.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

En relación a la caracterización de los granos Cebada, Triticale, Trigo y Centeno. En la presente investigación. La cebada y el trigo se encontraron en el rango óptimo de proteína, humedad y germinación, para el malteo. Por el contrario, el triticale y el centeno están fuera de rango a un nivel inferior.

En lo referido a la caracterización de las maltas de los cereales (70°C), todas las maltas cumplieron en el rango de pH y humedad para maltas base, así como en % de proteína y poder diastásico, excepto el centeno. Para el porcentaje de extracto de malta, el trigo y centeno no cumplieron. Para él % de extracto fermentable y viscosidad, el triticale, trigo y centeno no cumplieron. Respecto a él % de proteína soluble, ninguna malta cumplió.

En relación con la caracterización de las maltas de triticale por efecto de la temperatura, los resultados indicaron, que para el contenido de proteína y pH todas las temperaturas cumplieron con el rango establecido. La humedad y el poder diastásico cumplieron para la malta base (70°C) y para las oscuras (80°C y 90°C). El porcentaje de extracto de malta solo se alcanzó en la malta oscura a 90°C. Respecto al porcentaje de extracto fermentable, contenido de proteína soluble y viscosidad, ninguna temperatura originó valores en los rangos óptimos.

Las variables más importantes para una malta cervecera, como ya se indicó son el porcentaje de extracto fermentable, contenido de proteína soluble y viscosidad. Con

la presente investigación se concluyó que los resultados obtenidos para el triticale de la variedad bicentenario cosechado en Valles altos, no son aptas para tal efecto, por lo que se sugiere utilizarlo como adjunto.

Finalmente, se sabe que triticale es un cereal de la cruce de trigo y centeno, y con la presente investigación, se sugirió que sus características de, contenido de proteína, porcentaje de extracto de malta y poder diastásico, provienen del trigo, mientras que el pH podría ser una propiedad proveniente el centeno.

IX. RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS POSTERIORES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación se sugiere que la aptitud maltera del triticale se ve limitada por parámetros fisicoquímicos importantes como su contenido de proteína y viscosidad del mosto, principalmente, los cuales limitan su aplicación tecnológica como malta cervecera. Sin embargo, debido a que mostro otros parámetros significativamente superiores a la cebada, trigo y centeno, en especial el poder diastásico, se sugiere también que es prudente realizar más estudios cualitativos y cuantitativos sobre las enzimas que el triticale, sobre todo α -amilasa (También llamada diastasa) y β -amilasa ya que es conocido que la actividad de estas dos enzimas son las responsables del poder diastásico de una malta.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguirre, A., Borneo, R., y León, A. E. (2011). Properties of triticale flour protein based films. *Food Science and Technology*, 44: Pp 1853–1858.
2. Ambriz-Vidal, T. N. (2015). *Calidad de maltas de triticale (x Triticosecale Wittmack) para uso como sustituto de maltas de cebada para la producción de mosto cervecero*. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, México.
3. Anderson, M. (2000). Current practice in malting, brewing and distilling in Cereal Biotechnology. *Woodhead Publishing*. 9: Pp 183-215.
4. Arendi, E. K. y Zannini, E. (2013). 5-Triticale. In Cereal grains for the Food and Beverage Industries, *Food Science, Technology and Nutrition*. Pp. 201-219.
5. Arias, G. (1991). Calidad industrial de la cebada cervecera. Instituto nacional de investigación agropecuaria. Uruguay. Pp. 19-30.
6. ASBC Methods of Analysis. American Society of Brewing Chemists. (2004). Vol. I. St. Paul, MN. USA.
7. Balcerek, M y Pelech-Przybylska, K. (2009). Effect of supportive enzymes on chemical composition and viscosity of rye mashes obtained by the

- pressureless liberation of starch method and efficiency of their fermentation. *European food research and technology springer*. 229: Pp. 141–151.
8. Balcerek, M., Pelech-Przybyiska, K., Strak, E., Patelki, P. y Dziekoriska, U. (2016). Comparison of fermentation results and quality of the agricultural distillates obtained by application of comercial amylolytic preparations and cereal malts. *European Food Research and Technology Springer*. 242: Pp. 321–335.
 9. Bemhaja, M. (1996). INIA CARACE TRITICALE. *Unidad de difusion e Información Tecnológica del INIA*. 77: Pp. 1-5.
 10. Blanchflower, A. y Briggs, D. (1991). Micromalting Triticale: Optimising Processing Conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 56: Pp. 103-115.
 11. Borneo, R., Alba, N, y Aguirre, A. (2016). New films based on triticale flour: Properties and effects of storage time. *Journal of Cereal Science*, 68: Pp 82–87.
 12. Briggs, D. E. (1998). Grains and Pulses. En: Malts and Malting, (*Thomson Science*), Pp. 54-56. Reino Unido.
 13. Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., y Stevens, R. (2004). The Science of mashing. En: *Brewing Science and Practice*. (*Woodhead Publishing Limited*), Pp. 114-116. New York.

14. Callejo, G. M. J. (2002). Maltería. En: Industria de cereales y derivados, (Mundiprensa), Madrid España.
15. Cerveceros de México. (2018). Estado de la industria cervecera en México. Abril 2019, de Cerveceros de México Sitio web: <https://cervecerosdemexico.com/estado-de-la-industria/>
16. Chung, O. K. y Tsen, C. C. (1974). Triticale: First Man-made Cereal. AACC International, Inc.
17. Dennett, A. L., Wilkes, M. A., y Trethowan, R. M. (2013). Characteristics of modern triticale quality: the relationship between carbohydrate properties, α -amylase activity, and falling number. *Cereal Chemistry*, 90: Pp 594–600.
18. Dowideit, M. (2007). Expensive feed, expensive food. *New Energy*. 2: Pp 70-74.
19. Edney, M. J. y Izydorczyk M. S. (2003). Encyclopedia of Food Science and Nutrition. *Academic Press*. 2: Pp 3671-3677.
20. Figueroa J. D. (1985). Métodos para evaluar la calidad maltera en cebada. Editorial SARH INIA. México.
21. Fito, P., Andrés, A. M., Barat, J. M. y Albors, A. M. (2016). Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. España. Pp. 19-23.

22. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAOSTAT), (2013). Disponible en: <http://faostat3.fao.org>. Accesado 27 septiembre 2018.
23. Frás, A., Gołębiewska, K., Gołębiewski, D., Mańkowski, D. R., Boros, D., y Szecówka, P. (2016). Variability in the chemical composition of triticale grain, flour and bread. *Journal of Cereal Science*. 71: Pp 66–72.
24. Gebremariam M. M., Zarnkow, M. y Becker, T. (2012). Effect of Drying Temperature and Time on Alpha-Amylase, Beta-Amylase, Limit Dextrinase Activities and Dimethyl Sulphide Level of Teff (*Eragrostis tef*) Malt. *Food Bioprocess Technol*. 6: Pp 3462-3472.
25. Ghodsvali, A. (2009). Examining the raw malt mix of cereals and grains Resources of Golestan province to produce the proper raw materials for cooking and brewery industries. Engineering research center for agriculture and natural resources research center of Golestan. Gorgan. Pp. 23-27.
26. Gisbert, M. (2016). Diseño del proceso industrial para la elaboración de cerveza. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 11-13.
27. Glatthar, J., Heinisch, J. y Senn, T. (2003). The Use of Unmalted Triticale in Brewing and Its Effect on Wort and Beer Quality. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 61: Pp. 182-190.

28. Glatthar, J., Heinisch, J. y Senn, T. (2005). Unmalted triticale cultivars as brewing adjuncts: effects of enzyme activities and composition on beer wort quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85: Pp. 647–654.
29. Grujic, O. S. y Pejin, J. D. (2007). the application of triticale malt as the substitute for barley malt in wort production. *Acta periodica tecnologica*, de la Universidad de Novi Sad, Facultad de Tecnología. 38: Pp. 117-126.
30. Grujic, O. S., Pejin, J. D. y Dencic, S. S. (2009). The influence of technological parameters on malt quality produced from different triticale varieties. *Acta Periódica Tecnológica*, de la Universidad de Novi Sad, Facultad de Tecnología, 116: Pp. 297-303.
31. Guerra, N.P., Torrado-Agrasar, A., López-Macías, C., Martínez-Carballo, E., García-Falcón, S., Simal-Gándara, J. y Pastrana-Castro, L.M. (2009). Use of Amylolytic Enzymes in Brewing. *Academic Press*. Pp. 113-126.
32. Guzmán-Ortíz, F.A., Figueroa-Cárdenas, J.D., Guadarramal-Lezama, A.Y., Román-Gutiérrez, A.D., Ronquillo-De Jesús, E. y López-Perea, P. (2018). Caracterización y Evaluación de Nuevas Líneas de Triticale (X *Triticosecale* Wittmack) Para la Producción de Malta y Elaboración de Cervezas Artesanales. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 3, 885-896.
33. Hough, J. S. (1990). Biotecnología de la cerveza y la malta. Ed. Acriba, España. Pp. 23-30.
34. Kunze, W. (2006). Tecnología para cerveceros y malteros. *BLV Berlin*. Alemania, Pp. 110-293.

35. Lersrutaiyotin, R., Shigenaga, S. y Utsunomiya, N. (1991). Malting Quality of Hexaploid Triticale in Comparison with That of Barey, Wheat and Rye. *Journal Crop Science* 60, 291-297.
36. Lewis, M. J. y Young, T. W. (2012). *Brewing*. Editorial Aspen Publishers, Nueva York.
37. López, P., Figueroa, J. D. C., Sevilla, P. E., Román, G. A., Reynoso, R. y Martínez, P. R. (2008). Changes in barley kernel hardness and malting quality by microwave irradiation. *Journal of American Society of Brewing Chemists*. 66: Pp. 203-207.
38. Lowe, D., Ulmer, H., Sinderen, D. y Arendi, E. (2004). Application of Biological Acidification to Improve the Quality and Processability of Wort Produced from 50% Raw Barley. *Journal of the Institute of Brewing*. 110: Pp. 133-140.
39. MacLeod, L. y Evans E. (2016). Malting. *Reference Module in Food Sciences*. 1: Pp 68-76.
40. McGoverin, C. M., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Fox, G. & Manley, M. (2011). A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91: Pp.1155–1165.
41. Muñoz-Insa, A., Gastl, M., Becker, T. 2016. Influence of malting on the protein composition of triticale. *Cereal Chemistry Journal*. 93: Pp. 10-19.

42. Narzi, L. (1999). *Die Technologie Maltzbereitung*. Editorial Ferdinand Enke, Séptima Edición, Stuttgart, Alemania. Pp. 40-48.
43. Navarro-Contreras, A. L., Chaires-González, C. F., Rosas-Burgos, E. C., Borboa-Flores, J., Wong-Corral, F. J., Cortez-Rocha, M. O., y Cinco-Moroyoqui, F. J. (2014). Comparison of protein and starch content of substituted and complete triticales (× *Triticosecale* Wittmack): Contribution to functional properties. *International Journal of Food Properties*, 17: Pp 421–432.
44. O'Rourke, T. (2002). Malt specifications & brewing performance (Technical summary). *The BREWER International* 2, 27-30.
45. Pattison, A. L., y Trethowan, R. M. (2013). Characteristics of modern triticales quality: commercially significant flour traits and cookie quality. *Crop and Pasture Science*. 64: Pp 874–880.
46. Pejin, J., Grujic, O., Mojovic, L., Adosavljevic, M., Kocic-tanackov, S. y Djukić-vuković, A. (2013). The application of triticales variety adonis as the substitute for barley malt in wort production. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*. 17: Pp. 110-114.
47. Pejin, D., Mojovic, L.J., Vucurovic, J., Pejin, J., Dencic, S. y Rakin, M., (2009). Fermentation of wheat and triticales hydrolysates: A comparative study. *FUEL (The Science and Technology of Fuel and Energy)*. 88: Pp. 1625-1628.

48. Peña, R. J. (2004). Food uses of triticale. *Triticale Improvement and production*. Food and Agriculture Organization. Pp. 37-85.
49. Pribic, M.M., Pejin, J. D., Kocić-Tanackov, S. D., Đukić-Vuković, A. P. y Mojović, L. V. (2018). Micromalting of triticale varieties ns paun and Odisej. *Acta Periódica Tecnológica*. 49: Pp 137-145.
50. Reyna, L., Robles, M., Reyes, M., Mendoza, Y. y Romero, J. (2004). Hidrólisis Enzimática del almidón. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*. 1: Pp. 40-44.
51. Román-Gutiérrez A. D., Ruíz-Sánchez, Y., Ramírez- Mora, v., Vega-Barrios, E. (2005). Optimización del proceso de remojo para la producción de malta producida en el estado de Hidalgo. Presentación. 1-3 junio. Guanajuato, México: *VII Congreso Nacional de Ciencia de Alimentos y III Foro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos*.
52. Rosenberger, A., Kaul P. y Aufhammer, W. (2001). Improving the energy balance of bioethanol production from winter cereals; the effect of crop production intensity. *Appl Energy*. 68: 51-57.
53. Sabovics, M., Straumite, E., y Galoburda, R. (2014). The influence of baking temperature on the quality of triticale bread. 9th Baltic Conference on Food Science and Technology-Food for Consumer well-being, (Foodblatt 2014). Pp. 228–233.

54. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, (2017). Producción de cereales. Abril 2019, de SIAP Sitio Web: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>.
55. Skendi, A. y Papageorgiou, M. (2018). La influencia de la temperatura de secado en la composición química de una malta de cebada griega y las propiedades de su mosto. *Millenium*. 7: Pp 49-58.
56. Stewart, G. G. (2013). Biochemistry of Brewing. *Biochemistry of Foods*. 3: Pp 291-318.
57. Vaca-García, V. M., Martínez-Rueda, C. G., Mariezcurrena-Berasain, M. D., y Dominguez-Lopez, A. (2011). Functional properties of tortillas with triticale flour as a partial substitute of nixtamalized corn flour. *Food Science and Technology*, 44: Pp 1383–1387.
58. Varughese, G., Pfeiffer, W. H. y Peña, R. J. (1996). Triticale a successful alternative crop. *Cereal Foods World*, 1: Pp 41-475.
59. Wozniak, A. (2016). Yield and chemical composition of spring triticale grain depending on cropping and tillage systems. *International Journal of Plant Production*. 10: Pp 45-52.
60. Zhu, F. (2017). Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*. 241, 468-479.

61. Zhuang, S., Shetty, R., Hansen, M., Fromberg, A., Hansen, P. y Hobbey, T. (2017). Brewing with 100 % unmalted grains: barley, wheat, oat and rye. *European Food Research and Technology Springer*. 243: Pp. 447–454.
62. Zipaev, D., Kashaev, A. y Rybakova, K. (2016). Beer technology with the use of malt from triticales. *Bulletin of the International Refrigeration Academy*. 1: Pp. 19-23.
63. Grujic, O. S., Pejin, J. D. y Dencic S. S. (2009). the application of triticales variety odyssey as the substitute for malt in wort production. *BIBLID*. 41: Pp. 7-17.

XI. CARTA DE ENVÍO DE ARTÍCULO CIENTÍFICO ENVIADO A LA REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA QUÍMICA

7/11/2019

Correo: María Dolores Mariezcurrena Berasain - Outlook

[rmiq] Acuse de recibo del envío

Francisco J Valdes Parada <iqfvp@hotmail.com>

Jue 07/11/2019 02:28 AM

Para: María Dolores Mariezcurrena-Berasain <nekkane16@hotmail.com>

María Dolores Mariezcurrena-Berasain:

Gracias por enviar el manuscrito "MALTAS DE TRITICALE (X. Triticosecale Wittmack) Y EL EFECTO DE TRES NIVELES DE TEMPERATURA DE SECADO SOBRE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, COMPARACIÓN CON MALTAS BASE DE CEBADA, TRIGO Y CENTENO" a Revista Mexicana de Ingeniería Química. Con el sistema de gestión de publicaciones en línea que utilizamos podrá seguir el progreso a través del proceso editorial tras iniciar sesión en el sitio web de la publicación:

URL del manuscrito: <http://www.rmiq.org/ojs311/index.php/rmiq/authorDashboard/submission/969>

Nombre de usuario/a: mariezm

Si tiene alguna duda puede ponerse en contacto conmigo. Gracias por elegir esta editorial para mostrar su trabajo.

Francisco J Valdes Parada

Revista Mexicana de Ingeniería Química

11.1. Artículo enviado a la revista mexicana de ingeniería química

Revista Mexicana de Ingeniería Química

MALTAS DE TRITICALE (X. *Triticosecale* Wittmack) Y EL EFECTO DE TRES NIVELES DE TEMPERATURA DE SECADO SOBRE SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS, COMPARACIÓN CON MALTAS BASE DE CEBADA, TRIGO Y CENTENO.

D. Girón-Orozco², D.L. Pinzón-Martínez¹, E. D. Archundia Velarde, A.T. Gutiérrez-Ibáñez¹,

E. Heredia-Olea², M.D. Mariezcurrena-Berasain^{1*}

¹ *Facultad de Ciencias Agrícolas, UAEMéx, Área de Alimentos y Tecnología Agroindustrial. Cerrillo Piedras Blancas, Toluca, México 50295.*

² *Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales*

³ *Tecnológico de Monterrey, Centro de Biotecnología FEMSA, Ave. Eugenio Garza Sada No. 2501. Monterrey Nuevo León, México 64849.*

Fecha de envío: día, mes, año

Resumen:

Triticale (X. *Triticosecale* Wittmack) ha sido reconocido como malta cervecera base, posee mayor poder enzimático que la cebada, pero, no se ha evaluado como malta oscura. El objetivo del trabajo fue evaluar las propiedades fisicoquímicas de maltas base de triticale, trigo, centeno y cebada secadas a 70°C para determinar si el triticale se comportaba como la cebada y quien aportaría entre trigo y centeno tales propiedades. Se evaluaron dos temperaturas 80°C y 90°C en triticale (maltas oscuras) para observar el efecto de la temperatura sobre las propiedades fisicoquímicas. El triticale tuvo propiedades fisicoquímicas parecidas a la cebada en pH, humedad, contenido de proteína y poder diastásico. El trigo tuvo mayor tendencia hacia el triticale en contenido de proteína, porcentaje de extracto de malta, y poder diastásico, se presume que este estaría aportando dichas propiedades. La viscosidad, contenido de proteína soluble, y porcentaje de extracto fermentable de la malta base de triticale no se comportó como la de cebada. Se observó que la temperatura impactó sobre el poder diastásico reduciéndolo aproximadamente 50% a 90°C, igualmente el porcentaje de extracto y el porcentaje de extracto fermentable se redujo a 80°C. *Palabras clave:* Triticale, trigo, centeno, malta, secado, actividad diastásica.

Abstract:

Triticale (X. *Triticosecale* sp. Wittmack ex A. Camus 1927) has been recognized as a base beer malt, with a higher enzymatic power than barley, but has not been evaluated as dark malt. The objective of the present research was to evaluate the 70 °C dried malts physicochemical properties from triticale, wheat, rye and barley to determine triticale similar characteristics respecting to barley and whose provide such properties between wheat and rye. Two temperatures 80 ° C and 90 ° C were evaluated in triticale (dark malts) to observe the temperature effect over physicochemical properties. Triticale moisture, pH, protein content and diastatic power physicochemical properties were similar to barley physicochemical variables. Wheat had a higher tendency towards triticale in protein content, malt extract percentage, and diastatic power; furthermore, it was suggested as these properties contributor. Triticale viscosity, soluble protein content, and fermentable extract percentage base malt did not behave like barley malts. Temperature impacted over the diastatic power by reducing it approximately 50% at 90 ° C, also the extract and fermentable extract the percentages were reduced at 80 ° C.

Keywords: Triticale, wheat, rye, malt, dried, diastatic activity.

1. Introducción

La malta cervecera se elabora a partir cebada (*Hordeum vulgare*), hay diferentes tipos de ellas, base (diastásicas), caramelo, oscuras y tostadas (no diastásicas), entre otras, sus características dependen del perfil de secado que se use para su obtención (Anderson, 2000; Hough, 1996; Pilla y Vinci, 2012). La cebada se usa por su alto poder diastásico (refiriéndose a su contenido y actividad de enzimas), para la producción de maltas, aunque también pueden usarse maíz, trigo, centeno, triticale, arroz o sorgo, maltas denominadas “Non Barley malts” (Hough, 1996; Briggs, 1998; Edney y Izydorczyk, 2003; Anderson, 2000). Para que un grano sea malteado y de acuerdo al Instituto de Investigación de Cervecería y Malteo (BMBRI) de Winnipeg, Canadá, debe tener pureza varietal sin evidencias de pre-germinación, 96% de germinación, 11%-12.5% de proteína, 13% de humedad

máxima, grano uniforme libre de enfermedades, micotoxinas, residuos químicos, daños por frío o condiciones ambientales, menos del 5% de granos rotos o desnudos, libre de insectos, tizón y olores extraños, entre otros (Stewart, 2013). Cada país tiene sus exigencias específicas, en Brasil 13% de humedad, en Uruguay 13.5%, y en la Unión Europea de 15% a 16%, germinación de 95% para la Unión Europea, y 92% para Brasil y Uruguay, 12 % de proteína para Uruguay y Brasil, entre 11%-12% para Australia, y de 10%-11.4% en Alemania. Porcentajes más altos provocan penalizaciones, y en el caso de proteína impide la comercialización (Arias, 1991; Figueroa, 1985).

La malta cervecera se obtiene del proceso de malteado, cuyo objetivo es permitir mediante la germinación la activación de las enzimas en la materia prima, estas hidrolizarán las reservas de nutrientes, principalmente los gránulos de almidón, para obtener un endospermo degradado y la matriz proteica (α -Amilasa, β -Amilasa, dextrinasa límite, α -Glucosidasa, β -Glucanasa, xylanasa, lipasa, endoproteinasas y exoproteinasas) (MacLeod y Evans, 2016). Dichas enzimas son capaces de completar la degradación del almidón durante el macerado, de modo que lo que se obtiene del malteado es, por tanto, un endospermo degradado y enzimas capaces de completar esa degradación durante el macerado en el proceso cervecero (Hough, 1996; Stewart, 2013). Dicho proceso comienza con el remojo de los granos de cereal en agua entre 15°C y 25°C, suministrando oxígeno y removiendo el CO₂ producido por la respiración del embrión. La humedad debe llegar de 42% a 48% para iniciar la germinación, hasta que la plúmula alcance dos tercios del tamaño del grano (4-6 días), a 15°C-25°C y a humedad relativa mayor de 60%, en condiciones controladas (Hough, 1996; MacLeod y Evans, 2016). El grano germinado (malta verde), se somete a un secado. Las maltas base se secan entre 50-70°C y las oscuras, de 80-100°C. El secado detiene la germinación, estabilizando las enzimas y confiere características de color y aroma, a temperaturas mayores de 80°C la cantidad de enzimas se disminuye, principalmente α -Amilasa y β -Amilasa (Espinoza y

Espín, 2016; Gebremariam y col. 2012; Ruiz-Sánchez, 2006; Edney y Izydorczyk, 2003). De las distintas variedades de malta cervecera, la malta cervecera más vendida comercialmente es la Pilsner, por lo que se toma de referencia para la evaluación de la calidad de las demás. Para ello se consideran diferentes análisis, sensoriales (color, olor, aspecto de corte), análisis físicos (peso hectolítrico, peso de mil granos, clasificación por zarandas) y químicos (extracto de malta, poder diastásico y atenuación final, entre otros) (Arias, 1991).

Triticale (X. *Triticosecale* Wittmack), es un cereal antropogénico, que incorpora la funcionalidad y alto rendimiento de sus progenitores, el trigo (*Triticum* spp) y la durabilidad del centeno (*Secale cereale*). Su principal uso es como alimento para ganado, panificación, sustrato para biocombustible y en la actualidad, se sugiere como como adjunto para fabricar cerveza (McGoverin y col. 2011; Varughese y col. 1996; Peña, 2004; Pejin y col. 2009), ya que ha demostrado resultados superiores en comparación con arroz y maíz, mejorando la capacidad de solubilización del almidón e incrementando los niveles de aminoácidos, para mejorar la capacidad de fermentación de los mostos (Glattar y col. 2003). Se ha demostrado que el triticale puede sustituir desde 25% a 70% a la malta de cebada para la elaboración de mostos cerveceros (Pejin y col. 2013; Guzmán-Ortíz y col. 2018).

El triticale ha presentado características cerveceras superiores a sus progenitores (trigo y centeno) como, mayor poder diastásico y extracto de malta, y un menor tiempo de remojo que la cebada, lo que es una ventaja cervecera a nivel industrial (Lersrutaiyotin y col. 1991). El triticale produce altos niveles de actividad autoamilolítica (α y β -amilasa) (Pejin y col. 2009; Munoz-Insa y col. 2015). Algunas variedades de triticale producen 25-66 unidades de α -amilasa (Ceralpha Units) y 422 a 806 de β -amilasa (equivalentes de maltosa), comparado con cebada que produce 30.4 unidades de α -amilasa y 361 unidades de β -amilasa (Peña, 2004).

El triticale se ha utilizado para la elaboración de maltas base (Grujic y Pejin, 2007), y hasta el momento no se han encontrado reportes de maltas de triticale oscuras o tostadas. Derivado de lo anterior, el objetivo de la presente investigación, fue evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre las características fisicoquímicas de dos maltas oscuras de triticale y compararlas con maltas diastásicas de triticale, cebada, trigo y centeno como controles.

2. Materiales y métodos

2.1. Materia prima

Para la elaboración de las maltas se utilizaron cuatro cereales de las siguientes variedades. Triticale (X. *Triticosecale* Wittmack) Bicentenario (Valles Altos), Trigo duro (*Triticum spp.*) Tollocan, Cebada (*Hordeum vulgare*) Doña Josefa, proporcionados por el Instituto de Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal de Estado de México (ICAMEX) y Centeno (*Secale cereale*) Castellana como semilla certificada.

2.2. Caracterización de los granos

A los granos se les determinó, % de humedad, germinación y proteína (Barley-5, 3, 7, respectivamente), de acuerdo a la American Society of Brewing Chemists (2004).

2.3. Malteo de los granos

Se realizó un ensayo exploratorio por triplicado para el malteado de los granos, se remojaron 100 g. de cada cereal, lavados con agua y jabón neutro. Se sumergió cada uno en 400 mL de agua potable con hipoclorito de calcio al 1% en peso durante 1 h. Se enjuagó con agua potable a una temperatura entre 15°C-20°C (Anderson, 2000; MacLeod y Evans, 2016) por 48 h, cada 6 h se agitó por 2 minutos y descansos de aire cada 6 h. Se determinó humedad cada 8 h, hasta alcanzar un mínimo de 45% (Román- Gutiérrez y col. 2005). Los cereales se llevaron a una cámara de germinación (Seedburo modelo SEARS 255.94299110), a 16°C-18°C de

temperatura, 5 días, hasta que la plúmula alcanzó al menos 3/4 del tamaño del grano y la raicilla 1.5 veces el tamaño de este (Figueroa, 1985).

Posteriormente, se aplicó un diseño experimental completamente aleatorio en el cual se elaboraron tres tipos de maltas de triticale por triplicado. Se consideró como factor la temperatura de secado, mediante la rampa de secado estándar indicada por Muñoz-Insa y *col.* (2013), de 50°C-16h, 60°C-1h, 70°C-1h y 80°C-5h. El último punto (80°C-5h) se modificó para obtener 3 tratamientos, el tratamiento 1 (T1 o malta base) 70°C-5h, tratamiento 2 (T2 o malta oscura) 80°C-5h y tratamiento 3 (T3 o malta oscura) 90°C-5h. Como variables de respuesta se tomaron las características fisicoquímicas descritas en el apartado 2.4.

El secado se realizó con una estufa de aire forzado equipada con regulación de temperatura (Riosa modelo HCF-62D). Las maltas obtenidas se molieron en un molino de martillos (MACSA modelo 300), con un tamiz de malla N° 30 (Malt-4). Las muestras se envazaron al vacío y se etiquetaron.

2.4. Caracterización de las maltas

Se realizaron análisis de humedad, proteína, harinosidad, poder diastásico, extracto de malta, pH, proteína soluble, viscosidad y extracto fermentable (Malt-3, Malt-8, Malt-2E, Malt-6, Malt-4, Wort-8, Wort-10A, Wort-13, Wort-5A, respectivamente) de la American Society of Brewing Chemists (2004). El mosto se elaboró de acuerdo con el método Malt-4, de la misma asociación.

2.5. Análisis de los datos

Los resultados se analizaron con un ANOVA de una vía $P \leq 0.05$. Al encontrar diferencias significativas $P \geq 0.05$ se aplicó una prueba de Tukey.

3. Resultados y discusión

3.1. Caracterización de los granos

Los resultados para humedad observados para el triticale, trigo y cebada fueron $10.76\% \pm 0.11\%$, $11.56\% \pm 0.15\%$ y $11.46\% \pm 0.20\%$, respectivamente. Todos se encontraron por debajo del valor mínimo óptimo indicado por Figueroa, (1985) y por Arias, (1991), del 12% ya que dicho valor, es decisivo para lograr el almacenamiento del grano por periodos prolongados y para conservar el poder germinativo del mismo. Solo el centeno tuvo un valor mayor $12.36\% \pm 0.35\%$, pero muy cercano al óptimo, por lo que se decidió maltear todos los granos tal cual estaban (Anderson, 2000). En relación con el porcentaje de proteína, la cebada tuvo $12.27\% \pm 0.20\%$ y el trigo $12.10\% \pm 0.10\%$ lo que está acorde con Stewart, (2013) quien indico un óptimo de 12.5%. El centeno tuvo $10.70\% \pm 0.17\%$, acercándose al óptimo. Para triticale se obtuvo un valor de $13.73\% \pm 0.23\%$, Anderson, (2000) y Hough, (1996), mencionaron que con este valor en cebada se originaban maltas con alto poder enzimático, pero bajo contenido de extracto, aunado a lo anterior, Arias, (1991), mencionó que 14% de proteína puede provocar problemas en la germinación durante el proceso de malteo. No obstante, lo anterior, en la presente investigación, a pesar de que el triticale tuvo un valor alto, pero no llegó a 14% y no presentó dificultades durante la germinación. La norma NMX-FF-043-SCFI-2003 indica un porcentaje de germinación mínimo de 85% para someter a los granos a un proceso de malteo. Los 4 cereales estuvieron por encima de dicho valor, lo que permitió un malteo adecuado. Los análisis descritos se presentan en la tabla 1.

Tabla 1 (Referirse al Cuadro No. 3 del apartado “Discusión de resultados”)

3.2. Caracterización de maltas

Los resultados de los análisis realizados a las maltas del triticale, cebada, trigo y centeno se muestra en la tabla 2.

3.2.1. Contenido de humedad

El contenido de humedad de las maltas fue de 5.66% a 6.1%, que coincide con las maltas lager estándar (4.5% a 6%) bajo las mismas condiciones de secado

(O'Rourke, 2002; Hough 1996). Skendi y Papageorgiou, (2018) reportan porcentajes de humedad entre 5.63% y 7.45%, para maltas de cebada, que sufrieron un presecado de 40°C y 45°C y un secado a 80°C, 90°C y 100 °C, ambos (presecado y secado) durante 6 horas, que son condiciones diferentes de secado a las utilizadas en la presente investigación. Las maltas de triticale secadas a 80°C y 90°C, obtuvieron valores más bajos ($4.63\% \pm 0.15$ y $3.46\% \pm 0.05$, respectivamente) como indicó O'Rourke, (2002), para maltas ale oscuras estándar (2%-3%). Grujic y Pejin, (2007) reportan porcentajes de humedad de 4.3% a 4.6% en maltas de triticale, en una sola fase de secado, lo cual fue similar a los presentes resultados.

3.2.2. Contenido de proteína

El valor de proteína en maltas base de cebada va de 10.50% a 12.30%, este valor es inferior que el del grano de cebada que se encuentra en un rango de 11.00% a 12.50%, esto se debe a las pérdidas que ocurren durante el malteo (Edney y Izydorczyk, 2003; Stewart, 2013). Los resultados de proteína para grano se encuentran en la tabla 1 y para las malatas en la tabla 2. El triticale perdió un 11.15% de proteína del grano a la malta ($13.73\% \pm 0.23\%$ a $12.23\% \pm 0.32\%$, respectivamente); la cebada tuvo una pérdida de 9.54% ($12.26\% \pm 0.20\%$ a $11.13\% \pm 0.11\%$, respectivamente); el trigo tuvo una pérdida de 7.44% ($12.10\% \pm 0.1\%$ a $11.16\% \pm 0.11\%$, respectivamente); y el centeno tuvo una pérdida de 8.42% ($10.70\% \pm 0.17\%$ a $9.80\% \pm 0.17\%$, respectivamente). En orden descendente, el triticale fue el grano que perdió más proteína por el malteo, luego cebada, centeno y el que menos perdida tuvo fue el trigo. Esto es contrario a lo sugerido por Arias, (1991), ya que indica un porcentaje de pérdida del 0.5%, sin embargo, este valor puede corresponder a una malta caramelo (en donde es menos importante la presencia de enzimas por lo tanto la modificación se reduce); mientras

que por el contrario las maltas base (diastásicas), con más tiempo de germinación muestran mayor oportunidad de activación de las enzimas y por consecuencia mayores pérdidas por malteo (MacLeod y Evans, 2016). Stewart, (2013) mencionó que en maltas base de cebada las pérdidas típicas por el malteo son de 6% a 12%, como se encuentran los valores obtenidos en la presente investigación, y que debe haber un valor adecuado para el crecimiento de la levadura en la fermentación de 10.5%-12.3%. Finalmente, en la presente investigación se infirió que aunque hubo una pérdida de proteína del grano durante el mateo, que fue mayor en triticales (13.7%) que, en el resto de los cereales, dicho parámetro al final del proceso de malteo tiene que ver más con trigo y con cebada que con el centeno. Sin embargo, Stewart, (2013) indicó que el valor de proteína sugerido para el óptimo trabajo de las levaduras va de 10.5% a 12.3%, como fueron los obtenidos en la presente investigación.

Respecto al porcentaje de proteína de la malta oscura de triticales a 80°C (11.80%±0.10%) y 90 °C (11.63%±0.15%) no tuvieron diferencias significativas, sin embargo, con la de 70°C (12.23%±0.32%) si hubo diferencias. En los resultados obtenidos se observó una tendencia en tanto al aumento de la temperatura una disminución de la proteína. Contrario a esto, Skendi y Papageorgiou, (2018) indican que no existen diferencias en el contenido de proteína por efecto de la temperatura en un secado entre 80°C-100°C.

3.2.3. Proteína soluble

La proteína soluble es la proteína de la malta diluida en el mosto, compuesta en su mayoría de péptidos de cadena corta y aminoácidos, fueron de 4.90%-5.60% (Stewart, 2013). Los valores encontrados en la presente investigación fueron de 5.7% a 6.76%. El valor más bajo fue en la malta de centeno (5.70%±0.10%), y el más alto en la de triticales (6.76%±0.11%). El mosto de triticales mostró diferencias

significativas ($P \geq 0.05$) con respecto al de cebada ($6.30\% \pm 0.10\%$) y con el de centeno, pero no tuvo diferencia significativa ($P \geq 0.05$) con el de trigo ($6.76\% \pm 0.15\%$). Todos los valores descritos se encontraron por encima del rango promedio reportado. La importancia de esta variable radica en que la composición de la proteína soluble tiene aminoácidos de diferente peso molecular que va de mediano a bajo. La proteína soluble de mediano peso molecular tiene la función de dar cuerpo y estabilidad de la espuma a la cerveza final, mientras que la de bajo peso molecular contiene a los aminoácidos que nutren a la levadura en el proceso de fermentación del mosto (Arias 1991; Stewart, 2013; Guzmán-Ortíz y col. 2018). Stewart, (2013), Ambriz-Vidal, (2015) y Guzmán-Ortíz y col. (2018), mencionan que un valor de proteína entre 4.9%-5.6% es de vital importancia para el crecimiento de la levadura en el mosto, y valores de proteína soluble elevados podrían aumentar la fracción de alto peso molecular, que al precipitarse puede causar enturbiamiento de la cerveza (O'Rourke, 2002; Blanchflower y Briggs, 1998; Grujic y Pejin, 2007), también se sabe que el sabor y aroma (flavor) de la cerveza pueden verse influenciados negativamente por la producción elevada de alcoholes superiores (alcoholes de fusel), que a su vez se pueden incrementar debido a un alto contenido de proteína soluble, causando en la cerveza un sabor característico a solvente (Loviso y Libkind, 2019). El porcentaje de proteína soluble de la presente investigación fue mayor al rango especificado anteriormente, esto puede deberse a la variedad de triticales usada en el proceso de malteo, y podría representar una ventaja ya que, con un porcentaje mayor de proteína soluble en el mosto, la levadura podría tener mayor cantidad de nutrientes a disposición y los compuestos de mediano y bajo peso molecular podrían dar a la cerveza característica de calidad específicas, por lo dicho habría que llevar a cabo la elaboración de la cerveza con las maltas de la presente investigación para comprobar si sucede el efecto de precipitación de proteína o una concentración elevada de alcoholes superiores que provoquen un impacto negativo sobre el sabor y aroma.

Las maltas oscuras secadas a 80°C y 90°C (6.7%) no tuvieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) respecto a la malta secada a 70°C. Lo que sugirió que el contenido de proteína que se solubilizó en el mosto no fue afectado por la temperatura de secado. De acuerdo al resultado de esta variable, el triticale mostró una tendencia hacia trigo más que al centeno (Fig. 1).

Fig. 1 (Referirse a la Gráfica No. 2 del apartado “Discusión de resultados”)

3.2.4. Extracto de malta (%)

El porcentaje de extracto de una malta está compuesto de sustancias hidrolizadas derivadas de la actividad enzimática como los azúcares fermentables y proteína soluble (Lersrutaiyotin y col. 1991; Briggs y col. 2004). El rango de valores en la presente investigación estuvo fue de 88.33%-99.40%. El porcentaje de extracto de la malta de triticale ($93.46\% \pm 1.15\%$) no tuvo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) con la malta de trigo ($89.10\% \pm 0.91\%$), pero si con la de centeno ($87.70\% \pm 0.40\%$) y cebada ($99.40\% \pm 0.52\%$), a 70°C. Resultados similares fueron reportados por Lersrutaiyotin y col. (1990) y Guzmán-Ortíz y Col. (2018), quienes evaluaron diferentes variedades de triticale, trigo, centeno y cebada y encontraron valores en triticale de 90.0%, centeno 90.3%, trigo 85.0% y cebada de 83.0%. Como puede notarse en la investigación descrita, el extracto de malta de triticale, tiene que ver más con el centeno que con el trigo, contrario a lo que ocurrió en la presente investigación donde el triticale tuvo una tendencia hacia el trigo. A pesar de lo dicho los valores obtenidos en todos los cereales fueron parecidos, excepto el de cebada el cual fue notablemente mayor, se sugiere que los cambios podrían estar relacionados con la variedad de los cereales utilizados. Para las maltas de triticale secadas a 90°C y 80°C, el valor fue de 88.33% y 90.53%, respectivamente, y presentaron diferencias significativas ($P \geq 0.05$) con la malta secada a 70°C ($93.46\% \pm 1.15\%$). Cabe recordar que se considera una malta base cuando es secada hasta 70°C conservando la actividad enzimática o en algunos casos evitando la excesiva generación de compuestos de pardeamiento (reacciones de

Maillard), arriba de esta temperatura ya se considera una malta oscura (Anderson, 2000). Los resultados mostraron claramente un descenso de esta variable a 80°C (90.53%±2.31%), considerando que las temperaturas de inhibición de α -amilasa (También llamada diastasa) y β -amilasa son 80 y 70°C (Callejo, 2002) (Fig. 2). Esto probablemente se relaciona con la finalización del proceso de conversión del almidón a azúcares fermentables, ya que a dichas temperaturas las enzimas fueron inactivadas (Skendi y Papageorgiou, 2018). Resultados similares a los presentados en la presente investigación fueron obtenidos por Skendi y Papageorgiou, (2018), quienes reportaron un descenso en el porcentaje de extracto de maltas oscuras de cebada de 77.9% a 64.91% cuando se aumentó la temperatura de secado de 80°C a 100°C. Finalmente, la malta base de triticale en esta variable tuvo una tendencia hacia trigo más que al centeno, aunque entre trigo y centeno no existieron diferencias significativas ($P \leq 0.05$) (Fig. 2).

Fig. 2 (Referirse a la Gráfica No. 3 del apartado “Discusión de resultados”)

3.2.5. pH

El pH es determinante para regular la actividad enzimática en el mosto ya que si este no se encuentra en un rango entre 5.0 a 6.0, las enzimas no realizarán la conversión del almidón a azúcares fermentables (O'Rourke, 2002; Guerra y col. 2009). El rango de pH obtenido en la presente investigación fue 5.4-5.7. En los mostos de los cuatro cereales de la presente investigación secados a 70°C no hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre ellos, y los valores obtenidos fueron, 5.38±0.15/centeno, 5.40±0.36/triticale, 5.70±0.04/trigo, 5.73±0.05/cebada. Para esta variable el pH del triticale mostró una mayor tendencia a parecerse al centeno que al trigo independientemente, de que los tres cereales se encentraron dentro del rango óptimo de pH que permitirá el buen desarrollo de la actividad enzimática (Guerra y col. 2009). Por su parte en las maltas de triticale secadas a diferentes temperaturas, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos para esta variable, presentando valores de 70°C/5.40±0.36, 80°C/5.64±0.01 y

90°C/5.55±0.03. Lo anterior indica que el pH no se vio afectado significativamente por la temperatura de secado, ya que se aproximó al sugerido por Hough, (1996) y Grujic y Pejin, (2007), que indican un rango de pH óptimo entre 5.2 y 5.7 para enzimas amilolíticas, principalmente β y α amilasa, responsables de terminar con la conversión del almidón de la malta en azúcares como la maltosa que posteriormente serán fermentados por la levadura en el proceso de fabricación de cerveza (Hough, 1996).

3.2.6. Poder diastásico

El poder diastásico es la capacidad enzimática de la malta, es decir, el potencial que tiene esta para convertir por sí misma su almidón en azúcares fermentables por medio de las enzimas, α -amilasa (También llamada diastasa) y β -amilasa, α -glucosidasa, dextrinasa límite y maltasa, principalmente. En la industria de la malta cervecera, las dos primeras son las más importantes ya que de ellas depende más del 99% del poder diastásico de la malta, esta variable se mide en grados Lintner (°L). Las maltas de cebada base (Lager 100°L-125°L) tienen mayor poder diastásico que las oscuras (Ale 35°L-40°L) (Ghasemi y Col. 2017; O'Rourke, 2002). En la presente investigación el rango de valores obtenido fue de 54°L-144.33°L, en relación a las maltas a 70°C, la malta de centeno tuvo el valor más bajo (60.66°L±2.88°L), seguida por la de cebada (103.0°L±3.60°L), trigo (135.66°L±1.15°L), y con el valor más alto la malta de triticale (140.33°L±7.37°L), que coinciden con Lersrutaiyotin y col. (1991) para triticale. Se sugiere que la variedad de cada cereal influyó en dicha variable. Las maltas oscuras de triticale (Tabla 2), presentaron un poder diastásico significativamente menor ($P \leq 0.05$) comparadas con la malta base (70°C/144.33°L±7.37°L, 80°C/108.0°L±5.00°L, 90°C/54.0°L±3.60°L) (Fig. 3). Los valores mostrados concuerdan con la explicación que dan Gebremariam y col. (2012), en relación a que existe una desactivación de

enzimas amilolíticas después de 70°C. La malta secada a 90°C (54°L) tuvo un valor similar a las maltas oscuras reportado por O'Rourke, (2002) (35°L-40°L). Gebremariam y col. (2012) realizaron un estudio en malta de trigo Teff (*Eragrostis tef*) con secado a 65° y 80°C, encontrando que la actividad enzimática se redujo para α -amilasa de 68 U/g a 42 U/g, β -amilasa 440 U/g a 406 U/g y dextrinasa límite de 1,072 U/kg a 736 U/Kg. Lo que indicó que el poder diastásico se reduce por efecto de la temperatura, como en la presente investigación. Respecto al poder diastásico del triticale (140.33°L \pm 7.37°L), este se relacionó más con el trigo (135.66°L \pm 1.15°L) que con el centeno (60.66°L \pm 2.88°L). Lo que coincide con los valores obtenidos por Lersrutaiyotin y col. (1991) quienes proponen que el triticale (197°L) tiene valores con tendencia hacia el trigo (148°L) más al centeno (93 °L).

Fig. 3 (Referirse a la Gráfica No. 5 del apartado "Discusión de resultados")

3.2.7. Extracto fermentable (%)

El extracto fermentable, son los azúcares fermentables (glucosa y maltosa) en el mosto accesibles para la levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) (Narziss, 1999; Briggs, 1998). El valor para la malta de cebada fue 89.60% \pm 1.15%, triticale 74.40% \pm 0.45%, trigo 68.60% \pm 1.04% y centeno 46.60% \pm 1.36%. Todos presentaron diferencias significativas (Tabla 2) ($P \leq 0.05$). Arias, (1991) realizó una clasificación de extracto fermentable, siendo muy bueno con 82%, bueno con 81.9%-80.6%, aceptable con 80.5%-79% e insuficiente de menor a 79%. Los resultados obtenidos sugieren a la malta de cebada como muy buena (89.60% \pm 1.15%) y las demás como insuficientes (triticale/74.40% \pm 0.45%, trigo/68.60% \pm 1.04%, centeno/46.60% \pm 1.36%). Contrario a esto, en la investigación de Guzmán-Ortíz y col. (2018), los valores que obtuvieron, se clasifican en el rango de insuficientes ya que tienen menos de 79.1% de extracto de malta es decir 77% para mosto de cebada y 72% para mosto de triticale.

De acuerdo con Arias, (1991) los resultados de la malta triticalesecada a 70°C de la presente investigación, se considera como insuficiente para la nutrición de levadura (*Saccharomyces cerevisiae*). Aunado a lo anterior, se ha reportado que contenidos de proteína superiores al óptimo en la cebada, se relacionan con maltas de alto poder diastásico, pero con extracto fermentable insuficiente (Anderson, 2000; y Hough, 1996). De acuerdo a Stewart, (2013) el triticalesecado presentó un porcentaje de proteína inicial (13.73%) mayor al óptimo (12.5%). Lo que le permitió un poder diastásico más alto ($140.33^{\circ}\text{L}\pm 7.37^{\circ}\text{L}$) pero un contenido de extracto fermentable insuficiente ($74.40\%\pm 0.45\%$).

En relación con las temperaturas de secado de triticalesecado, las maltas oscuras tuvieron valores muy bajos de extracto fermentable (Fig. 4), es decir, a 80°C fue de $52.90\%\pm 2.02\%$ y a 90°C fue de $41.90\%\pm 2.00\%$. Skendi y Papageorgiou, (2018), indicaron que en maltas de cebada secadas a 80°C y 100°C obtuvieron un contenido de azúcares entre 20 g/L a 11 g/L, respectivamente, y que un aumento en la temperatura provocó la desactivación parcial de las enzimas amilolíticas y por lo tanto, la cantidad de azúcares fermentables producidos. Muñoz-Insa y Col. (2013) indicaron que un extracto fermentable entre 75.7%-82.2%, en malta de Espelta (*Triticum Spelta* L.) secada a 80°C, este valor es similar al obtenido en triticalesecado de la presente investigación ($74.40\%\pm 0.45\%$), los valores de la presente investigación, sugieren que esta propiedad podría provenir del trigo.

Fig. 4 (Referirse a la Gráfica No. 6 del apartado “Discusión de resultados”)

3.2.8. Viscosidad del mosto

Es un punto de interés crucial que se considera en la elaboración de un producto como la cerveza, una viscosidad elevada es indeseable ya que dificulta el procesamiento del mosto, sobre todo la filtración. El rango óptimo de viscosidad en maltas base de cebada es de 1.38 mPa·s a 1.48 mPa·s (Stewart, 2013). Para el caso de los cereales, de la presente investigación los resultados indicaron un rango

de viscosidad en el mosto de 1.6 mPa·s a 4.00 mPa·s (Tabla 2). La malta de cebada 1.66 mPa·s±0.28 mPa·s, seguida por las maltas de trigo (3.0 mPa·s±0.00 mPa·s), centeno (3.50 mPa·s±0.00 mPa·s) y triticale (4.0 mPa·s±0.00 mPa·s). De acuerdo a Grujic y Col. (2009) y Grujic y Pejin, (2007) los valores obtenidos en la presente investigación son muy elevados excepto cebada, ya que ellos proponen que en mostos de triticale con malta de cebada, valores entre 1.8 mPa·s y 2.3 mPa·s son valores altos de viscosidad, dichos valores se asociaron a un alto contenido de nitrógeno soluble y β -Glucanos, estos investigadores proponen como valore típicos viscosidad en mostos de malta de cebada de 1.5 mPa·s a 1.6 mPa·s, lo que coincide con el valor obtenido para cebada (1.66 mPa·s) en la presente investigación, partiendo de los resultados descritos los valores de viscosidad obtenidos por el triticale de la presente investigación sugerirían que no es viable por su alta viscosidad (Grujic y Col. 2010; Pejin y Col. 2013).

En relación a las temperaturas de secado las maltas de triticale secadas a 80°C y 90°C tuvieron valores de 3.33 mPa·s±0.28 mPa·s y 3.50 mPa·s±0.00 mPa·s respectivamente, y a 70°C de 4.0 mPa·s±0.00 mPa·s. Los resultados indicaron que existió una tendencia a que la viscosidad baje cuando se aumenta la temperatura. Skendi y Papageorgiou, (2018) mencionaron que temperaturas de secado de 80°C, 90°C y 100°C, en su experimento tuvieron una influencia en la viscosidad de los mostos de malta de cebada de 3.00 mPa·s a 4.00 mPa·s, siendo la temperatura de 90°C la que presento el valor más bajo (1.2 mPa·s) y a 100°C aumentó a 4.00 mPa·s, concluyen que este efecto pudo deberse a una posible resistencia de desactivación parcial de las enzimas como la β -glucanasa a 90°C, sugieren que un presecado (40°C-45°C) antes del secado puede ayudar a estabilizar las enzimas como la β -glucanasa. No obstante, es importante hacer más estudios ya que la estabilidad térmica y actividad de las enzimas puede ser difícil de predecir. Se conoce que, una elevada viscosidad es un problema para los parámetros de calidad principalmente el, porcentaje de extracto de malta, fermentación del mosto y poder diastásico

(Blanchflower y Briggs, 1991). Se puede concluir que el aumento de temperatura en maltas de triticale de 70°C a 90°C, además de su elevada viscosidad, afectaron parámetros importantes como el % de extracto de malta, % de extracto fermentable y poder diastásico.

Tabla 2.

Conclusiones

En relación a la caracterización de los granos de los cereales (Cebada, Triticale, Trigo y Centeno) usados en la presente investigación, la cebada y el trigo se encuentran en el rango óptimo de proteína, humedad y germinación, para someterse al malteo. Por el contrario, el triticale y el centeno están fuera de rango a un nivel inferior.

En lo referido a la caracterización de las maltas de los cereales (70°C), todas las maltas cumplieron en el rango de pH y humedad para maltas base; de igual forma para proteína y poder diastásico excepto centeno; para el porcentaje de extracto de malta, el trigo y centeno no cumplieron; para % de extracto fermentable y viscosidad, el triticale, trigo y centeno no cumplieron; respecto a él % de proteína soluble, ninguna malta cumplió.

En relación con la caracterización de las maltas de triticale por efecto de la temperatura, los resultados indicaron, que para el contenido de proteína y pH todas las temperaturas cumplieron con el rango establecido; la humedad y el poder diastásico cumplieron para la malta base (70°C) y para las oscuras (80°C y 90°C); para el porcentaje de extracto de malta solo la malta oscura secada a 90°C cumplió; en lo que respecta al porcentaje de extracto fermentable, contenido de proteína soluble y viscosidad ninguna temperatura quedó en los rangos óptimos.

Las variables más importantes para una malta cervecera, como ya se indicó son el porcentaje de extracto fermentable, contenido de proteína soluble y viscosidad. Con

la presente investigación se concluyó que los resultados obtenidos para el triticale de la variedad bicentenario cosechado en Valles altos no son aptas para tal efecto, por lo que se sugiere utilizarlo como adjunto.

Finalmente se sabe que triticale es un cereal que dé inicio provenía de trigo y centeno. Con la presente investigación se sugiere que sus características de, contenido de proteína, porcentaje de extracto de malta, poder diastásico, provienen del trigo, mientras que el pH podría ser una propiedad proveniente el centeno.

Bibliografía

- Ambriz-Vidal, T. N. (2015). Calidad de maltas de triticale (X triticosecale wittmack) para uso como sustituto de maltas de cebada para la producción de mosto cervecero. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales, Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Anderson, R.G. (2000). Current practice in malting, brewing and distilling. En: *Cereal biotechnology*, (Peter C. Morris y James H. Bryce eds.), Pp. 183-192. CRC Press, New York.
- Arias, G. (1991). *Calidad Industrial de la cebada cervecera*. Editorial Unidad de Difusión e Información Tecnológica del INIA, Uruguay.
- ASBC. (2004). Methods of Analysis. Disponible en: <http://methods.asbcnet.org>. Accesado: 01 febrero 2019.
- Blanchflower, A. y Briggs, D. (1991). Micromalting Triticale: Optimising Processing Conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 56, 103-115. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740560202>
- Briggs, D. E. (1998). Grains and Pulses. En: *Malts and Malting*, (Thomson Science), Pp. 54-56. Reino Unido.

- Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., y Stevens, R. (2004). The Science of mashing. En: *Brewing Science and Practice*, (Woodhead Publishing Limited), Pp. 114-116. New York.
- Callejo, G. M. J. (2002). Maltería. En: *Industria de cereales y derivados*, (Mundiprensa), Madrid España.
- Edney, M. J. y Izydorczyk M. S. (2003). Malt. En: *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*, (Luiz Trugo and Paul M. Finglas), Pp. 3671-3677. Academic Press. Canadá.
- Espinoza, N. y Espín, N. (2016). Estudio de las condiciones de malteado de maíz (*Zea mays*) y quinua (*Chenopodium quinoa*) que favorezcan su aptitud cervecera. Tesis de licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, Universidad de Quito, Ecuador.
- Figueroa Cárdenas J.D. (1985). *Métodos para evaluar la calidad maltera en cebada*. Editorial SARH INIA, México.
- Gebremariam, M.M., Zarnkow, M. y Becker, T. (2012). Effect of Drying Temperature and Time on Alpha-Amylase, Beta-Amylase, Limit Dextrinase Activities and Dimethyl Sulphide Level of Teff (*Eragrostis tef*) Malt. *Food Bioprocess Technol* 6, 3462-3472. <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11947-012-1025-0>
- Ghasemi, D., Ghosdvali, A. y Fazeli, F. (2017). Effect of malting processing on physicochemical properties of obtained malt of two barley varieties in Gorgan Province. *Iranian journal of food science and technology* 13, 149-155. <http://fsct.modares.ac.ir/article-7-5345-en.html>
- Glatthar, J., Heinisch, J.J. y Senn, T. (2003). The Use of Unmalted Triticale in Brewing and Its Effect on Wort and Beer Quality. *American Society of Brewing Chemists* 61, 182-190. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-61-0182>
- Grujic, O.S. y Pejin, J.D. (2007). The Application of Triticale Malt as the Substitute for Barley Malting Wort Production. *BIBLID* 38, 117-126.

<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/1450-7188/2007/1450-71880738117G.pdf>

- Guerra, N.P., Torrado-Agrasar, A., López-Macías, C., Martínez-Carballo, E., García-Falcón, S., Simal-Gándara, J. y Pastrana-Castro, L.M. (2009). Use of Amylolytic Enzymes in Brewing. En: *Beer in Health and Disease Prevention, (Nutrition and Bromatology Group, Department of Analytical and Food Chemistry, Food Science and Technology Faculty, Ourense Campus, University of Vigo, Ourense, Spain)*, Pp. 113-126. Academic Press, Spain.
- Guzmán-Ortíz, F.A., Figueroa-Cárdenas, J.D., Guadarramal-Lezama, A.Y., Román-Gutiérrez, A.D., Ronquillo-De Jesús, E. y López-Perea, P. (2018). Caracterización y Evaluación de Nuevas Líneas de Triticale (X *Triticosecale* Wittmack) Para la Producción de Malta y Elaboración de Cervezas Artesanales. *Rev. Mex. Ing. Quim.* 3, 885-896. [file:///C:/Users/DELL/Downloads/117-Texto%20del%20art%C3%ADculo-986-2-10 20181103.pdf](file:///C:/Users/DELL/Downloads/117-Texto%20del%20art%C3%ADculo-986-2-10%2020181103.pdf)
- Hough, J.S. (1996). *Bioteología de la cerveza y la malta*. Editorial ACRIBIA S.A., España.
- Lersrutaiyotin, R., Shigenaga, S. y Utsunomiya, N. (1991). Malting Quality of Hexaploid Triticale in Comparison with That of Barey, Wheat and Rye. *Journal Crop Science* 60, 291-297. <https://doi.org/10.1626/jcs.60.291>
- MacLeod, L. y Evans E. (2016). Malting. *Reference Module in Food Sciences* 1, 68-76. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00153-0>
- McGoverin, C.N., Snyders, F., Muller, N., Botes, W., Fox, G. y Manley, M. (2011). A review of triticale uses and the effect of growth environment on grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91, 1155-1165. <https://vdocuments.mx/a-review-of-triticale-uses-and-the-effect-of-growth-environment-on-grain-quality.html>
- Muñoz-Insa, A., Selciano, H., Zarnkwon, M., Becker, T. y Gastl, M. (2013). Malting Process Optimization of Spelt (*Triticum spelta* L.) for the Brewing

- Process. *Food Science and Technology* 50, 99-109.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.06.019>
- Narziss, L. (1999). *Die Technologie Maltzbereitung*. Editorial Ferdinand Enke, Stuttgart.
 - Norma Mexicana NMX-FF-043-SCFI-2003. (2003). *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereal-cebada maltera (Hordeum vulgare L. y Hordeum distichum L.). Especificaciones y métodos de prueba*. Disponible en: http://impulsoraagricola.com.mx/nueva/wpcontent/uploads/2016/02/norma_calidad_sagarps.pdf. Accesado: 10 enero 2019.
 - O'Rourke, T. (2002). Malt specifications & brewing performance (Technical summary). *The BREWER International* 2, 27-30. <http://www.ibdlearningzone.org.uk/article/show/pdf/500/>
 - Pejin, D., Mojovic, L.J., Vucurovic, V., Pejin, J., Dencic, S. y Rakin, M. (2009). Fermentation of wheat and triticale hydrolysates: A comparative study. *FUEL* 88, 625-1628. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.01.011>
 - Pejin, J., Grujic, O., Mojovic, L., Radosavljevic, M., Kocic-Tanackov, S. y Djukic-Vukovic, A. (2013). The Application of triticale Variety Adonis as the Substitute for Barley Malt in Wort Production. *Journal on Processing and Energy in Agriculture* 17, 110-114. <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1821-4487/2013/1821-44871303110P.pdf>
 - Peña, R. J. (2004). *Food uses of triticale. Triticale Improvement and production*. Food and Agriculture Organization. Pp. 37-85. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/009/y5553e/Y5553E01.pdf>
 - Pilla, S. y Vinci, G. (2012). *Cervezas de todo el mundo (Enciclopedia práctica)*. Editorial De Vecchi, S.A. de C.V., Barcelona.
 - Pomeranz, Y., Burkhart, B.A. y Moon, L.C. (1970). Triticale in malting and brewing. *Proc American Society of Brewing Chemists* 40, 40-46. <https://doi.org/10.1080/00960845.1970.12006959>

- Román-Gutiérrez, A. D., Ruíz-Sánchez, Y., Ramírez-Mora, v. y Vega-Barrios, E. (2005). Optimización del proceso de remojo para la producción de malta producida en el estado de Hidalgo. Presentación. 1-3 junio. Guanajuato, México: *VII congreso nacional de ciencia de alimentos y III foro nacional de ciencia y tecnología de alimentos*.
- Ruiz-Sánchez, Y. (2006). Elaboración y evaluación de maltas cerveceras de diferentes variedades de cebada (*Hordeum vulgare*) producidas en los estados de hidalgo y Tlaxcala. Tesis de licenciatura en Químico en alimentos, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
- Skendi, A. y Papageorgiou, M. (2018). La influencia de la temperatura de secado en la composición química de una malta de cebada griega y las propiedades de su mosto. *Millenium* 2, 49-58. <http://hdl.handle.net/10400.19/5262>
- Stewart, G. G. (2013). Biochemistry of Brewing. En: *Biochemistry of Foods*, (N.A. Michael Eskin y S. Fereidoon eds.), Pp. 291-316. Academic Press, Reino Unido.
- Varughese, G., Pfeiffer, W.H. y Pena, R.J. (1996). Triticale: a successful alternative crop. *Cereal Foods World* 41, 474–482. https://www.researchgate.net/publication/287537697_Triticale_A_successful_alternative_crop_Part_1
- Zhu, F. (2017). Triticale: Nutritional composition and food uses. *Food Chemistry*. 241, 468-479. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.009>
- Loviso, C. y Libkind, D. (2019). Síntesis y regulación de los compuestos del aroma y sabor derivados de la levadura en la cerveza: Alcoholes superiores. *Revista argentina de microbiología* 1, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.11.006>