

EVALUACIÓN DE LA APTITUD CERVECERA DE CEBADAS (*Hordeum distichum*) PRODUCIDAS EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACA

**Investigador Principal
ANGIE CAROLINA FLOREZ MERCHAN
Estudiante de Ingeniería de Alimentos
Universidad de Pamplona**

**Grupo de Investigación en Ingeniería y Tecnología de Alimentos
“GINTAL”
Grupo de Investigación Biongeniería Alimentaria**



**INGENIERÍA DE ALIMENTOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA
2018**

EVALUACIÓN DE LA APTITUD CERVECERA DE CEBADAS (*Hordeum distichum*) PRODUCIDAS EN EL DEPARTAMENTO DE BOYACA

Investigador Principal
ANGIE CAROLINA FLOREZ MERCHAN
Estudiante de Ingeniería de Alimentos
Universidad de Pamplona

Director
DANIEL S. DURAN OSORIO
Ph.D. Tecnología, Calidad y Marketing en Industrias Agroalimentarias
Universidad de Pamplona

Codirector
YANINE Y. TRUJILLO NAVARRO
Ph.D. Tecnología, Calidad y Marketing en Industrias Agroalimentarias
Universidad de Pamplona

Grupo de Investigación en Ingeniería y Tecnología de Alimentos
“GINTAL”
Grupo de Investigación Biongeniería Alimentaria



INGENIERÍA DE ALIMENTOS
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, JUNIO DE 2018

DEDICATORIA

A los protagonistas de mi vida Esperanza, Guillermo y Andrea: Por su constante amor, comprensión y apoyo incondicional en cada instante

AGRADECIMIENTOS

Al profesor Daniel Duran quien me permitio formarme con las electivas profesionales hace dos años que gracias a ello hoy mi trabajo de grado esta enfocado a esta línea, por su confianza, por toda su colaboración, paciencia y comprensión, por su excelente orientación y asesoramiento en cada etapa de la ejecución de mi tesis.

A mis maestros y nuevamente a mi director de trabajo que compartieron sus conocimientos para convertirme en una profesional, por su tiempo, amor, entrega total en la labor como docente, por ser tan especiales y abiertos haciendo que esto permita que no solo alla una relación estudiante- docente te sientes a gusto en familia, gracias inmensamente por las oportnuidades que nos ofrecen, abrirnos la mente hacia al mundo que se puede aprender cada dia mas para crecer no solo como profesional sino como persona.

A mi madre adorada quien estuvo ahí siempre conmigo apoyándome con sus palabras, regaños, abrazos, chistes, cuidados, consejos, que siempre me escucho cuando estaba estresada, triste, que siempre me dice que soy capaz de esto y más. Gracias a ti porque fuiste mi baston para no dejarme caer nunca apesar de cualquier situacion.

A mi padre por su apoyo incondicional en todo momento, por enseñarme que hay que trabajar duro, con honestidad, pasión, por sacarme una risa cuando estaba mal para que no me salgan arrugas.

A mi hermana por ser tan especial conmigo con sus palabras, estar ahí conmigo cuando mas lo necesitaba, por compartirme tus experiencias y en especial de abirme las alas, la mente y corazón para hacer muchas cosas, vivir y dar lo mejor de nosotras.

Gracias a todas las personas y compañeros que ayudaron directa e indirectamente en la realización de este proyecto, que tuve la oportunidad de compartir con ustedes, de conocerlos y reir mucho, que estaban ahí para escucharme y tener una palabra de aliento.

A Dios por darme la fortaleza y la salud para continuar en los momentos más difíciles de esta aventura y de las que vendran.

INDICE DE CONTENIDO

| | PAG. | |
|--------|--|----|
| 1. | RESUMEN DEL PROYECTO | 1 |
| 2. | MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE | 2 |
| 2.1. | LA CEBADA | 2 |
| 2.2. | PRODUCCION MUNDIAL DE LA CEBADA | 2 |
| 2.3 | CEBADA EN COLOMBIA | 3 |
| 2.4 | COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA Y PROPIEDADES DEL GRANO DE CEBADA | 4 |
| 2.5 | MALTEADO DEL GRANO | 6 |
| 2.5.1. | Selección y limpieza del grano | 7 |
| 2.5.2. | Remojo | 7 |
| 2.5.3. | Germinacion | 9 |
| 2.5.4. | Secado | 11 |
| 2.5.5. | Molienda | 13 |
| 2.5.6. | Macerado | 14 |
| 2.6 | CALIDAD FISICOQUIMICA EN EL GRANO DE CEBADA | 16 |
| 2.6.1. | Tamaño | 17 |
| 2.6.2 | Peso de mil granos | 18 |
| 2.6.3 | Color del grano | 18 |
| 2.6.4 | Peso hectolitro | 18 |
| 2.6.5 | Vigor germinativo | 19 |
| 2.6.6 | Contenido de humedad, proteína y cenizas | 20 |
| 2.7 | EVALUACION FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO OBTENIDO DEL MACERADO | 21 |
| 2.7.1. | Tiempo de conversión, velocidad de sacarificación, hidrolisis de almidón | 21 |
| 2.7.2 | Color | 21 |
| 2.7.3 | Gravedad especifica | 22 |
| 2.7.4 | Extracto aparente | 22 |
| 2.7.5 | Acidez | 23 |
| 2.7.6 | pH | 23 |
| 2.7.7 | Viscosidad | 23 |

| | | |
|---------|--|----|
| 2.7.8 | Turbidez | 24 |
| 3. | OBJETIVOS | 25 |
| 3.1. | Objetivo General | 25 |
| 3.2. | Ojetivos Especificos | 25 |
| 4. | MATERIALES Y METODOS | 26 |
| 4.1. | MATERIAL VEGETAL | 26 |
| 4.2. | DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL GRANO DE CEBADA RELACIONADAS CON LA APTITUD CERVECERA. | 26 |
| 4.2.1 | Material extraño e impurezas | 26 |
| 4.2.2 | Tamaño del grano | 26 |
| 4.2.3 | Peso de 1000 granos | 26 |
| 4.2.4 | Peso hectolitrito | 27 |
| 4.2.5 | Contenido de proteína | 27 |
| 4.2.6 | Contenido de minerales | 27 |
| 4.2.7 | Contenido de humedad | 27 |
| 4.2.8 | Determinación de color | 27 |
| 4.2.9 | Vigor germinativo | 27 |
| 4.3 | COMPORTAMIENTO DE LAS CEBADAS DURANTE EL PROCESO TECNOLÓGICO DEL MALTAJE. | 28 |
| 4.3.1 | Remojo | 28 |
| 4.3.2 | Germinacion | 28 |
| 4.3.3 | Secado | 28 |
| 4.4 | EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS MALTAS ELABORADAS A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS. | 29 |
| 4.4.1 | Determinación de color | 29 |
| 4.4.2. | Macerado de las maltas | 29 |
| 4.4.3 | CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LOS MACERADOS | 29 |
| 4.4.3.1 | Color | 29 |
| 4.4.3.2 | Gravedad especifica | 30 |
| 4.4.3.3 | Extracto aparente | 30 |
| 4.4.3.4 | Acidez total | 30 |
| 4.4.3.5 | pH | 30 |
| 4.4.3.6 | Turbidez | 30 |
| 4.4.3.7 | Viscosidad | 31 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 4.5 | ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS | 31 |
| 5. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 32 |
| 5.1 | CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL GRANO DE CEBADA RELACIONADAS CON LA APTITUD CERVECERA. | 32 |
| 5.2 | COMPORTAMIENTO DE LAS CEBADAS DURANTE EL PROCESO TECNOLÓGICO DEL MALTAJE. | 39 |
| 5.2.1. | Remojo | 40 |
| 5.2.2. | Germinación | 42 |
| 5.2.3 | Secado | 43 |
| 5.3 | EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS MALTAS ELABORADAS A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS. | 45 |
| 5.3.1 | Macerado de las maltas | 47 |
| 5.3.2 | Características físicoquímicas de los macerados (mostos) obtenidos | 48 |
| 6. | CONCLUSIONES | 56 |
| 7. | RECOMENDACIONES | 59 |
| 8. | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 60 |

INDICE DE FIGURAS

| | | PAG |
|------------------|---|------------|
| Figura 1. | Sección esquemática de los principales compartimentos del grano de cebada (corte lateral) | 5 |
| Figura 2. | Registro fotográfico del proceso de germinación | 43 |
| Figura 3. | Registro fotográfico de la cebada germinada en el día 5 | 43 |

INDICE DE TABLAS

| | PAG |
|--|------------|
| Tabla 1. Composición bioquímica del grano de cebada en % de materia seca | 6 |
| Tabla 2. Efecto de la temperatura en la maceración en la malta | 15 |
| Tabla 3. Análisis selectivo del grano de cebada | 32 |
| Tabla 4. Clasificación del grano de cebada por tamaño en porcentaje | 33 |
| Tabla 5. Densidad del grano de cebada | 35 |
| Tabla 6. Color del grano de cebada | 36 |
| Tabla 7. Composición química en porcentaje del grano de cebada | 37 |
| Tabla 8. Porcentaje del vigor germinativo del grano de cebada. | 39 |
| Tabla 9. Contenido final de humedad en el grano de cebada durante el remojo | 42 |
| Tabla 10. Contenido final de humedad de la malta en el secado | 45 |
| Tabla 11. Color del grano de cebada malteado. | 46 |
| Tabla 12. Color del mosto de la cebada malteada en la escala SMR y EBC | 49 |
| Tabla 13. Color del mosto de la cebada malteada en la escala CieLa*b* | 50 |
| Tabla 14. Gravedad específica y extracto aparente del mosto de la cebada malteada | 51 |
| Tabla 15. Acidez y pH del mosto de la cebada malteada | 53 |
| Tabla 16. Turbidez y viscosidad del mosto de la cebada malteada | 54 |

INDICE DE GRAFICAS

| | PAG |
|--|------------|
| Grafica 1. Seguimiento de la temperatura durante la germinación | 40 |
| Grafica 2. Aumento de la humedad del grano de cebada durante el remojo | 41 |
| Grafica 3. Evolución del contenido de humedad durante el secado de la malta verde | 44 |
| Grafica 4. Seguimiento los sólidos solubles durante el tiempo de sacarificación | 48 |

1. RESUMEN DEL PROYECTO

En Boyacá especialmente desde hace décadas es uno de los departamentos en donde la cebada se ha destacado por su alta producción, debido a que el uso primordial de este cereal es la producción de malta para la industria de cerveza. Sin embargo, no todas las cebadas pueden ser utilizadas para elaborar malta, debido a que en el proceso de maltaje básicamente en la germinación y secado de la cebada, se activan una gran cantidad de enzimas que transforman las sustancias de reserva (almidón principalmente) en azúcares fermentables. Por ello, el objetivo del presente proyecto fue establecer la aptitud cervecera de cebadas producidas en el Departamento de Boyacá. Para ello, inicialmente, a muestras cinco muestras de cebada procedentes de diferentes municipios, se les determinó parámetros fisicoquímicos como análisis selectivo, clasificación por tamaño del grano, contenido de humedad, color, proteína, minerales y poder germinativo. Seguidamente se realizó el proceso de malteado, en donde, para la activación enzimática en las muestras de cebada, se aumentó los niveles de humedad entre 35%-45%, sumergiendo los granos en agua a temperatura entre 16°C y 18°C (maltas claras). Posterior al remojo la cebada se hizo germinar a temperaturas entre 17°C y 22°C durante 5 días. Finalmente, los granos geminados se secaron en dos etapas (55°C y 60°C) y (65°C y 75°C) para activar las enzimas hasta alcanzar una humedad del 4-6%. Se analizaron a las maltas obtenidas y sus macerados características fisicoquímicas como color, gravedad específica, extracto aparente, turbidez, viscosidad, acidez total, azúcares y pH. Los resultados obtenidos fueron contrastados con macerados de maltas industriales obtenidas en el mercado, mostrando diferencias significativas en los diferentes parámetros analizados con excepción en la coordenada b^* de la malta obtenida en donde no se presentaron diferencias entre las maltas obtenidas y las comerciales. Se concluye que todas las cebadas estudiadas originarias de los municipios de Boyacá presentan aptitud cervecera de acuerdo a los diferentes parámetros analizados, siendo la cebada de la Floresta, Socha, Duitama, Tuta y Pesca en su orden de mayor a menor aptitud cervecera.

2. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

2.1. LA CEBADA

La cebada (*Hordeum vulgare*), es un cereal rustico que pertenece a la familia de las gramíneas, cultivado desde la antigüedad se adapta tanto a regiones fértiles del centro y norte de Europa, como a tierras áridas del sur de África. Desde hace 3000 años su primordial aplicación es como materia prima para la producción de malta en la industria cervecera (Hornsey, 1999) ya que es más rica en almidón, que es la sustancia que da origen al extracto fermentescible, contiene proteínas, generalmente en cantidades más que suficientes para proporcionar los aminoácidos necesarios para el crecimiento de la levadura, y las sustancias nitrogenadas que desarrollan un papel importante en la formación de espuma. La mayor parte de las variedades de cebada que se cultivan pertenecen a las especies *Hordeum distichum* (cebadas de dos hileras) y *Hordeum hexastichum* (cebada de seis hileras). Ambas especies de cebada se emplean para la elaboración de malta cervecera, las cebadas de 2 hileras producen granos gruesos, más grandes y uniformes, más redondos y con cubiertas finas y por ello se utilizan para la elaboración de maltas primordialmente en países de Europa contienen más almidón que las de seis hileras, aunque su dotación enzimática sea menor, en tanto a las cebadas de 6 hileras producen granos más irregulares en tamaño, a causa del menor espacio disponible para crecer correctamente (Callejo, 2002) poseen un alto potencial enzimático y son preferidas principalmente en cervecerías de México, Canadá y Estados Unidos (Hornsey, 1999) tienen rendimientos altos y maltean bien, elevado contenido en proteína del orden 11,5-12,5%, riqueza en cascarilla ya que mejora el comportamiento en la maceración pero son pobres en almidón. Por tanto las cebadas de seis filas producen una malta con un contenido de almidón bajo pero con una elevada dotación enzimática.

2.2. PRODUCCION MUNDIAL DE LA CEBADA

La cebada ocupa el cuarto lugar en importancia en el mundo después del trigo (215 mill. de ha), arroz (155 mill. de ha) y maíz (139 mill. de ha) (Langridge y Barr, 2003). Según la (FAO, 2015) en el mundo se sembraron 51 millones de hectáreas de cebada que generaron una producción de 135 millones de toneladas, en razón de su amplia adaptación de cultivo, inclusive a situaciones y ecosistemas

extremos, es un cultivo ampliamente distribuido por todo el planeta (PoeHlman, 1985); alrededor de 89 países producen este cereal, desde regiones subtropicales (África, Brasil), hasta zonas frías (Noruega, Alaska). No obstante su amplia distribución, su producción se concentra de manera importante en la Unión Europea ocupando el primer lugar como productor de cebada con el 46.1%; en conjunto con Rusia, Canadá, Australia y Ucrania representan el 73% de la producción mundial de cebada. Por países, el 50% de la producción mundial se concentra en China, Estados Unidos de América, Alemania y Brasil con 18.5%, 17.7%, 8% y 5% respectivamente. En el caso del Reino Unido, Japón y México cuentan cada uno con una participación promedio del 4% de la producción total, se estima que un 25% se destina a la producción de malta, materia prima para la elaboración de cerveza y el 75% para la alimentación animal. Aunque tiene gran potencial por su contenido de Beta-glucanos, su utilización en la alimentación humana es limitado (Newton *et al.*, 2011).

2.3. CEBADA EN COLOMBIA

La cebada (*Hordeum vulgare L.*) pertenece al grupo de cereales cultivados desde la antigüedad, 7.000 años A.C. en Colombia, desde su introducción, en 1539, fue uno de los principales cultivos de tierra fría, llegando a ocupar hasta 75.600 ha, en 1975, que produjeron 122.000 Ton (Rico, 1980). El área sembrada, en el 2015 semestre A, fue de 4.241 ha, con una producción total de 5.097 Ton con un rendimiento de 1,2 Ton/ha (Fenalce, 2015). Las importaciones de este mismo año alcanzaron 125.346 Ton, siendo 124.092 Ton tipo cervecera y el resto para consumo animal, humano o forrajera.

Los principales productores a nivel nacional de cebada son Boyacá, Cundinamarca y Nariño con un área sembrada en el 2015 semestre A de 2.420 ha, 200 ha, 311 ha, con una producción total de 3.940 Ton, 520 Ton, 637 Ton respectivamente. En el país, se siembran los cuatro tipos de cebada, que resultan de la combinación del número de carreras en la espiga y la persistencia de las glumillas del grano las de dos y seis carreras, cada una con granos desnudos y cubiertos.

En Colombia el cultivo de la cebada comenzó a adquirir importancia comercial a partir del establecimiento de la industria cervecera a fines del siglo XIX, pero se sabe que la cebada fue introducida junto con el trigo y la avena por Jerónimo de Lebrón en 1539 y que las primeras siembras se hicieron en Tunja. La cebada se

produce en las mesetas Andinas como por ejemplo la Sabana de Bogotá, Boyacá y algunas áreas de Nariño. La industria cervecera es la gran consumidora de cebada lo que permitió el fomento de su cultivo durante algunos años, pero la construcción de malterías en la costa atlántica y el efecto de la apertura económica con libertad de importaciones a precios bajos causaron que desde finales de los años 80, la producción iniciaría un proceso de reducción en el área y la producción. La producción de cereales y alimentos en general se realiza por parte de pequeños y medianos productores (Duarte, 2011).

2.4. COMPOSICIÓN BIOQUÍMICA Y PROPIEDADES DEL GRANO DE CEBADA

El grano de cebada presenta forma oval y alargada posee 2 compartimientos especiales; el endospermo y el embrión, ambas zonas se encuentran rodeadas por dos capas externas (testa y pericarpio) que le confieren una protección vital durante el almacenamiento (Callejo, 2002).

El endospermo es el lugar en donde se almacena el almidón y está cubierto por la capa de aleurona; tanto las paredes celulares del endospermo amiláceo como las que conforman la aleurona se encuentran cubiertas por polisacáridos no amiláceos tales como arabinosilanos, B-glucanos y en menor cantidad unidades de celulosa. (MacGregor *et al.*, 1996) El endospermo del grano de cebada también es rico en nitrógeno (1.4-1.8% del peso seco), el cual se encuentra en forma de proteína enzimática y proteína de reserva (Hornsey, 1999). El embrión es la parte de la semilla de la cebada que se desarrolla durante la germinación ya que requiere de nutrientes como el almidón y proteínas para su crecimiento; en el embrión se promueve la formación de enzimas que potencian la degradación de dichos componentes.

La producción de enzimas durante la germinación inicia en el escutelo. Los lípidos constituyen el 3-4% del peso total del grano y se encuentran localizados mayoritariamente en las células del embrión y la aleurona. El pericarpio está compuesto mayoritariamente por un 20% de celulosa, pero contiene además un 6% de proteínas, un 2% de cenizas, un 0,5% de lípidos y pentosanos. La composición de la testa es esencialmente lipídica. La capa aleurona contiene en su parte más externa almidón y proteínas y en su parte interna, lípidos (30%), proteínas (20%), ácido fólico, vitamina B, celulosa y pentosano (Romain *et al.*, 2010). El endosperma está compuesto por un 65% de almidón, de un 7 a 12% de proteínas, de un 6 a un 8% de materias celulósicas en las paredes celulares (70%

de B-glucanos, 20% de pentasanos, 5% de proteínas, 2% de glucomanos, 2% de celulosa, 0,5% de ácidos fenólicos y 0,5% de ácidos urónicos) y del 2 al 3% de lípidos (Romain *et al.*, 2010). Las cebadas presentan una composición química muy variable, incluso entre lotes de un mismo cultivar. Como es lógico la cebada con cascarilla es más rica en fibra y en lignina que la cebada limpia.

Los granos con cascara son especialmente abrasivos debido al sílice que se encuentra en la epidermis de la cascarilla. La cebada tiene usualmente un contenido en nitrógeno entre 1,3 y 2,5 % en función de la materia seca, lo que equivale entre 8,1 y 15,6% de proteína bruta ($N \times 6,25$). Para fines de maltas ricas en enzimas se prefieren los granos con alto contenido en nitrógeno (por ejemplo 2,2% de N; alrededor del 13,8% de proteína) pero para obtener maltas pálidas y de alta calidad se prefieren con contenido en nitrógeno más bajos (por ejemplo 1,4- 1,65% de N; equivalente a 8,75% - 10,3% de proteína bruta). Los lípidos totales de la cebada se encuentran usualmente en torno a 3,5% de los que el 2,5% son lípidos neutros que se concentran en el embrión y en la capa de aleurona.

La cebada contiene cantidades significativas de azúcares solubles (predominando la sacarosa), si bien los carbohidratos más abundantes son los polisacáridos con el 58-65% (en los granos pesados el polisacárido más abundante puede ser el almidón); los β -(1-3,1-4)-glucanos con un 3-6%; las pentosanas con un 7-11% y con cantidades menores de otros polisacáridos. La cantidad de amilosa del almidón de las cebadas se encuentra por lo general alrededor del 25-30%, si bien existen cebadas con almidones céreos (aproximadamente el 100% de amilopectina) y otras con almidones ricos en amilasa (aproximadamente con el 44%). (Dendy y Dobraszcyk, 2001).

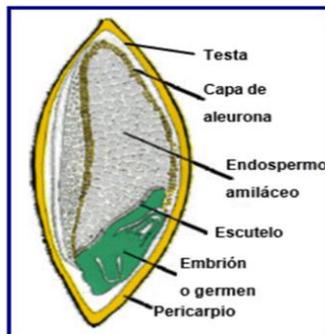


Figura 1. Sección esquemática de los principales compartimentos del grano de cebada (corte lateral) Fuente: (http://www.cl/sw_educ/cultivos/cereales/cebada.htm)

En general la cebada presenta la composición química mostrada en la tabla 1; los componentes descritos se encuentran expresados en base seca, por lo tanto el contenido de humedad de la cebada es próximo al 14%, de acuerdo con la composición bioquímica del grano de cebada, se puede observar un elevado porcentaje de almidón y baja cantidad de materia grasa.

Tabla 1. Composición bioquímica del grano de cebada en % de materia seca

| Compuestos | % |
|-------------------------|----------------|
| Glucósidos | 78-83 |
| Almidón | 63-65 |
| Sacarosa | 1-2 |
| Azúcares reductores | 1 |
| Otros azúcares | 1 |
| Pentosanos | 8-10 |
| β -glucanos | 3-5 |
| Proteínas | 9-12 |
| Albúminas | 1,5-1,9 |
| Globulinas | 0,4-0,5 |
| Hordeinas | 0,9-1,2 |
| Glutelinas | 3-4 |
| Aminoácidos y péptidos | 0,5 |
| Lípidos | 2-3,5 |
| Acidos nucleicos | 0,2-0,3 |
| Minerales | 2 |
| Polifenoles | 0,5-1,5 |
| Otros compuestos | 4-6 |

Fuente: Romain *et al.*, 2010

2.5. MALTEADO DEL GRANO

El malteo consiste en tres operaciones que son remojo, germinación y tostado en las que se controla cuidadosamente la humedad, la temperatura y la aireación (Bamforth y Barclay, 1993). En la operación del malteo, el remojo incrementa el contenido de humedad del grano hasta llegar a niveles que permitan la aceleración de su metabolismo e iniciar la germinación (Bamforth, 2005). Al lograr una germinación controlada, se suaviza el grano, se eliminan componentes

nocivos y se inicia el crecimiento de la plúmula y de las raicillas. Finalmente, el secado la última operación, permite estabilizar la malta paralizando la actividad biológica, este desecado reduce la humedad del grano del 45 % al 2-5 % (Romain *et al.*, 2010). La cebada utilizada en el malteado es un cereal con unas características botánicas, biológicas y bioquímicas bien definidas. El malteado conduce un aumento de los azúcares solubles, debido a la degradación del almidón, de los polisacáridos de las paredes celulares del endospermo y de las reacciones biosintéticas, en especial de sacarosa. Se producen cambios en la modificación de los azúcares en función de las cebadas utilizadas y las condiciones de malteado (Romain *et al.*, 2010). La malta no es sólo una fuente de azúcares fermentables y demás nutrientes de la levadura, también es una fuente de enzimas amilolíticas y proteolíticas para la hidrólisis de cualquier cereal sin maltear, estas enzimas son moderadamente resistentes al calor y se inactivan cuando la temperatura de secado sobrepasa los 70°C. Las temperaturas más altas, hacen más oscura a la malta debido a las reacciones de pardeamiento, entre los azúcares y los componentes de nitrógeno del grano (Doyle y Beuchat, 2007)

2.5.1. Selección y limpieza del grano

Es una actividad cualitativa que se realiza en base a propiedades físicas de la cebada y consiste en comprobar si el grano posee un tamaño uniforme, si se encuentra libre de materias extrañas tales como otras semillas, si contiene granos, heces de roedores, piedras, etc. La limpieza de la cebada consiste en eliminar cualquier sustancia ajena a la misma, así como los granos dañados, vanos, inmaduros, chupados o verdes que pudiesen existir. Otros parámetros de gran importancia son el tamaño, el olor y el color del grano; la cebada con carga microbiana muy alta emite un olor característico que se detecta con facilidad. Posteriormente se efectúan pruebas de laboratorio entre ellas la determinación de humedad, la viabilidad de germinación o capacidad germinativa y el contenido de nitrógeno, proteína, densidad aparente entre otros (Callejo, 2002).

2.5.2. Remojo

Es una fase crítica del malteado debido a que del remojo depende en gran medida la capacidad de germinación del grano, y marca el comienzo de la síntesis y de reacciones enzimáticas que proseguirán durante la germinación (French y McRuer, 1990), el cual consiste en suministrar agua al interior del grano con el objetivo primordial de incrementar su humedad hasta 40-45% (EBC., 2003).

También depende de la clase de malta que se quiera conseguir, para las maltas claras se procura obtener un grado de humedad del 42-44% y para las oscuras algo superior.

Durante el remojo, la absorción de agua al interior del grano es rápida, aunque después desciende gradualmente; el embrión toma rápidamente agua, en cambio el endospermo sufre una hidratación más lenta. La capacidad de hidratación de la cebada depende de la variedad, del tamaño del grano, de la cantidad de la muestra a remojar, de la temperatura y tiempo de remojo, entre otros factores (Briggs, 1998). El remojo consta de dos fases importantes: los períodos de inmersión (suministro constante de agua) y los períodos de oxigenación (suministro de oxígeno). El oxígeno es necesario porque la respiración del embrión aumenta significativamente lo que crea una demanda importante de este gas en el agua de remojo (French y McRuer, 1990), además es promotor de la formación de α -amilasa; en ausencia de oxígeno, el embrión puede metabolizar anaeróbicamente las reservas, pero de un modo energéticamente poco eficaz, convirtiéndolas en dióxido de carbono y alcohol y a medida que el alcohol incrementa su concentración, se vuelve tóxico para el grano, mientras que un exceso de dióxido de carbono inhibe la formación de enzimas (Wheith y Klaushofer, 1993)

Después del remojo, el agua empleada sufre una coloración debido a que la cebada puede contener materiales solubles y microorganismos que alteran el proceso de malteado, por ello es de gran importancia cambiar el agua de remojo por lo menos una vez durante todo el malteado (Marchington y Uttoxeter, 2000). Al final de la fase de remojo, el agua utilizada se elimina y se continúa con la germinación; esta etapa puede realizarse en el mismo recipiente donde es realizado el remojo o puede utilizarse material distinto.

Normalmente se recomienda realizar el remojo a temperaturas próximas a 16°C (Briggs, 1998), con una duración total de 2 a 3 días (Wolfgang, 1999); el tiempo anterior debe distribuirse de tal manera que cada 6 u 8 h los períodos de remojo sean sustituidos por períodos de oxigenación conocidos como descansos de aire, descargando el agua en la que fueron sumergidos los granos de cebada, con esto además se elimina el dióxido de carbono y etanol suprimidores de la respiración (Bamforth, 2005). A temperaturas elevadas, la absorción de agua es más rápida, pero el crecimiento microbiano aumenta también lo cual puede ocasionar la

muerte del embrión ya que los microorganismos y embriones consumen el oxígeno disuelto en el agua rápidamente y su carencia puede afectar las tasas de germinación del grano por lo cual es importante oxigenar el agua de remojo constantemente y someter al grano a periodos de aireación. La mejor temperatura para inmersión (en granos latentes) es baja (alrededor de 12 °C). Para un grano con letargo un valor de 16 y 18 °C se utiliza a menudo. A medida que el grano se hidrata, este incrementa a 1, 3 ± 1, 4 veces su volumen (Briggs, Boulton, Brookes, y Stevens, 2004).

Díaz (2016) sometió las diferentes muestras de cebada a un proceso de malteo las cebadas las colocaron en canastillas y fueron sometidos a un proceso de remojo en un tanque de acero inoxidable durante 48 h a 16 °C, una vez alcanzada la humedad del 45 % en los granos, se continuó con la fase de germinación. (Dewar y Berjak, 1996) reportaron que la temperatura de remojo tiene un gran efecto en la calidad de la malta, pues cuando realizaron pruebas de remojo a 20°C con variedades de cebada y sorgo; los extractos cerveceros de las muestras disminuyeron considerablemente, por lo que los autores anteriores recomiendan llevar a cabo el remojo a temperaturas menores.

Ruiz (2006) estableció diferentes condiciones de tiempo y temperatura de la fase de remojo llegando a establecer que a 10°C, el incremento de humedad fue favorable, obtuvieron humedades entre 40-45% durante 2 y 4 días, no hubo desarrollo microbiano en la muestra, por lo que este método resultó el más eficiente para remojo, puesto que a temperaturas entre 19 y 22°C, hubo desarrollo de microorganismos indeseables en cebada, mientras que a 4°C, este problema se resolvió pero a costa de un metabolismo muy lento del grano. García (1965) recomienda que el agua en el remojo para maltas claras debe de 12°C, aunque a veces se utilizan temperaturas superiores de 20-30°C con aireación. En el remojo no se debe de facilitar el desarrollo de microorganismos, por lo que la temperatura deberá de ser ajustada al valor en que, facilitando la absorción de agua, no sea muy favorable al desarrollo de microorganismos. Suele hacerse el remojo a temperatura comprendida entre 15 y 20 °C.

2.5.3. Germinación

La germinación es un proceso controlado cuyo objetivo es generar nutrientes, principalmente azúcares y aminoácidos mediante la modificación del endospermo, la cual ocurre por el desarrollo, distribución y acción de enzimas (α y β -amilasas,

proteasas, arabinosidasas y β -glucanasas). Los compuestos obtenidos en la germinación serán utilizados por la levadura durante la elaboración de cerveza.

La transformación de la cebada depende de factores como la cantidad y forma de distribución del agua dentro del endospermo amiláceo, la cantidad y capacidad de las enzimas hidrolíticas y las características estructurales del almidón a la degradación debido a la protección que le confieren β -glucanos y proteínas. Los procesos fundamentales que intervienen en el momento de la germinación son: hidrólisis enzimática del endospermo y síntesis en el embrión (Romain *et al.*, 2010). Durante esta operación, los contenidos del endosperma feculento son sustancialmente degradados, lo que resulta en el ablandamiento del grano (Bamforth, 2005). La germinación del grano es controlada mediante la estabilización de la humedad de la muestra (la cual debe mantenerse alrededor de 42%), con suministro de oxígeno, la eliminación del dióxido de carbono y la eliminación del exceso de calor generado por la respiración de la semilla.

La actividad enzimática se manifiesta por la aparición externa de raicillas en un extremo y el avance por debajo de la cáscara de la acrospira o cotiledón, (Castañe y Damm, 1997); el crecimiento del cotiledón y de raicillas de la cebada es conocido como desagregación, de acuerdo con el grado alcanzado en el proceso de transformación, se dice que las maltas son más o menos desagregadas, de esta forma, las maltas menos desagregadas, es decir con tamaños de raicillas menores se emplean para la elaboración de cervezas claras (raicillas con 1.5 veces la longitud del grano), mientras que las maltas con grados mayores de desagregación son utilizadas para fabricar cervezas de color oscuro; se aceptan raicillas con tamaños de hasta 2 veces la longitud del grano según (Callejo, 2002), mientras que la acrospira debe alcanzar 2/3 de la longitud del grano. (Figuerola, 1985) afirma que cuando la plúmula o acróspico del grano alcanzan los $\frac{3}{4}$ del tamaño el grano, se detiene la germinación, para evitar que se consuma considerable materia de reserva y disminuya el rendimiento de los granos en el malteo.

Una vez que finaliza la germinación, el producto obtenido, conocido como “malta verde”, se puede someter a una corriente de aire estéril a 25°C para disminuir la humedad de la muestra y con ello reducir el riesgo de desarrollo de microorganismos (Galán *et al.*, 2004) debido a que un inadecuado control durante la germinación puede reducir la calidad de la malta, sobre todo cuando se desarrolla contaminación por mohos o insectos (HGCA, 2002). Tradicionalmente, la

germinación se lleva a cabo a temperaturas entre 16 y 20 °C y dura por lo general 5 días, bajo este rango se obtiene un crecimiento eficiente en las raicillas de la cebada (MacGregor *et al.*, 1996), pero sin llegar a que estas se entrelacen y formen una red. Los genotipos de cebada que uso Diaz (2016) alcanzaron una humedad del 45 %, fueron colocados en envases de acero para la germinación durante 4 días a 16 °C, hasta que la plúmula alcanzó una longitud de $\frac{3}{4}$ partes el tamaño del grano, al igual que con los resultados obtenidos en la investigación de Ruiz (2006) que estableció dos temperaturas de germinación (16 y 20°C), este intervalo de temperatura favorece la formación de las enzimas necesarias para la germinación, si la malta se germina a temperaturas mayores que 20°C la formación y capacidad enzimática es menor; (Annica *et al.*, 1999) (Figuerola, 1985). (Agus y Palmer, 1996) reportan que temperaturas próximas a los 17 y 20°C son óptimas para la germinación de cebadas cerveceras, al igual que en experimentos similares, tales como los reportados por (Pelembé, Dewar, y Taylor, 2002) quienes obtuvieron maltas con actividad enzimática deseable cuando dichas muestras se germinaron a 20°C con la temperatura de 16°C se evita el desarrollo de hongos, además produce una adecuada modificación del grano.

2.5.4. Secado

Consiste en la aplicación de calor a la cebada después de que ha culminado la fase de germinación con el objetivo de detener la degradación del almidón y reducir la humedad hasta 2-5%, con ello se logra mantener la estabilidad de la malta durante el período de almacenamiento. Con el secado de la malta también se pretende detener la actividad enzimática desencadenada durante la germinación sin destruir las enzimas e introducir las características finales de color, sabor y aroma, y finalmente eliminar sabores indeseados en la malta (MacGregor *et al.*, 1996).

El secado se caracteriza por manejar temperaturas que no impliquen la destrucción de las enzimas desarrolladas durante la germinación (α y β -amilasas, β -glucanasas, proteasas y dextrinasas), debido a que estas enzimas son muy sensibles a altas temperaturas (Bamforth, 2005). En esta fase la malta alcanza niveles óptimos de transformación interna de los granos y desarrollo enzimático, el grano sufre cambios en su constitución y niveles enzimáticos (Romain *et al.*, 2010).

El secado es un proceso que requiere un riguroso control y comúnmente, se inicia

a bajas temperaturas (35-50°C), las cuales se van incrementando hasta llegar a temperaturas próximas a 75°C para la elaboración de maltas claras y temperaturas próximas a 100°C para obtener maltas oscuras; sin embargo también existen procedimientos de secado a temperatura constante, como es el caso de la malta caramelo, la cual se trata a la temperatura más baja posible sin aumento de calor; bajo el tratamiento anterior se produce una acentuación considerable de sabor (Meilgaard, 1993).

Las condiciones de secado son muy variadas y estas dependen de las características finales que se les quiere dar a la malta (Annica *et al.*, 1999). Al final de la fase del secado las enzimas termolábiles como las proteasas y β -glucanasas se encuentran desnaturalizadas y el resto las enzimas remanentes se encuentran coaguladas. La coagulación de las enzimas es de gran importancia para obtener cervezas no turbias. El secado puede durar entre 16 y 60 horas, dependiendo del tipo de malta a producir (Hornsey, 1999)

Las enzimas más importantes en el malteado son las amilasas alfa (α) y beta (β). Los productos de la α -amilasa son fundamentalmente carbohidratos complejos denominados dextrinas, ramificadas y lineales. La β -amilasa libera también dextrinas ramificadas, pero su principal producto es la maltosa, por tanto, que la α -amilasa se la denomina, con frecuencia enzima dextrinificante y a la β -amilasa enzima sacarificante (Hough, 1995)

En maltas claras el secado de los granos germinados debe comenzar a relativamente baja temperatura, para asegurar la supervivencia de las enzimas más sensibles al calor; luego debe aumentar progresivamente la temperatura, para producir cambios físicos en los granos (Bamforth, 2005). En esta etapa, el endospermo se deseca y su actividad enzimática se reduce (Romain *et al.*, 2010). Esta operación sigue un programa de temperatura de secado que va desde los 35 °C hasta alcanzar los 70 °C, en control automático, durante 14 a 24 horas aproximadamente (Figuroa, 1985). Durante el secado, también se debe evitar que la malta se someta a muy altas temperaturas, debido a la producción de N-nitrosoaminas, las cuales pueden resultar carcinogénicas, por lo cual debe disminuirse y/o evitarse su formación (Wainwright, 1993). Al final del secado, la malta debe ser almacenada a temperaturas bajas (4-5°C) para mantener constante la humedad obtenida, además de evitar contaminación de la misma, sobre todo de tipo microbiológica (Callejo, 2002).

En el trabajo de Ruiz , (2006) después de la fase de germinación, las muestras las sometieron a un secado a una temperatura de 55°C, durante 58 horas con el fin de inactivar las enzimas, eliminar la humedad de las cebadas germinadas y definir las características finales de color y sabor este método de secado seleccionado fue el adecuado para eliminar humedad suficiente sin destruir las enzimas presentes en la malta debido a que no se manejaron temperaturas altas que pudieran afectar la capacidad enzimática, con este tratamiento de secado también se evita la contaminación de las muestras causada principalmente por mohos. Para detener el crecimiento de la plántula y conservar la actividad enzimática, la germinación se interrumpe mediante el secado, en el cual se reduce la humedad del grano de 45 % hasta 4 ó 5 %, en unas 24 horas, mediante un proceso de 2 etapas, para evitar la inactivación de enzimas: la primera etapa se lleva a cabo a temperaturas de 55 a 60 °C, hasta llegar a 12 % de humedad; en la segunda etapa, se utilizan temperaturas entre 65 y 75 °C para alcanzar 4 ó 5 % de humedad. El control de la temperatura es fundamental para conservar la actividad enzimática.

2.5.5. Molienda

Antes de proceder a la molienda, se debe desechar la mayor parte de raicillas formadas durante el malteado ya que no tienen una función importante en procesos posteriores; el peso de las raicillas supone de 3 a 5% del peso total de la malta y se eliminan por abrasión de la muestra, por agitación y por métodos de tamizado (Pelembé *et al.*, 2002). Después de la eliminación de las raicillas la malta es molida para que se someta al macerado. Para macerar la malta, es necesario moler adecuadamente los genotipos malteados. Al ser más precisa la molienda, el potencial de extracción o rendimiento de materiales aumenta así como la producción de partículas de un tamaño, que sea rápidamente atacado por las enzimas y posteriormente favorecer la filtración del mosto (Castañe y Damm, 1997).

Las partículas no deben ser muy pequeñas (aunque no existe un tamaño específico para este parámetro), debido a que estas pueden causar problemas de drenado del mosto, en tanto que las partículas excesivamente grandes pueden afectar la enzimólisis de la malta, obteniendo velocidades de conversión lentas e incompletas (Hornsey, 1999). La cáscara es importante como medio de filtrado, cuanto más intacta esté la cáscara, la velocidad de filtración será mejor (Bamforth, 2005). En la molienda tradicional, el contenido de los granos debe ser finamente

molido para maximizar el rendimiento de extracto fermentable, por lo que es importante que la capa más externa, la cáscara, solamente está agrietada en lugar de a polvo (Doyle y Beuchat, 2007). Fundamentalmente existen dos tipos de molienda: molienda seca y molienda húmeda. En la primera, el molino puede ser de rodillos, de disco o de martillo, la molienda seca se prefiere para maltas bien desagregadas, normalmente destinadas a la elaboración de cervezas *lager*.

2.5.6 Macerado

El objetivo de la maceración consiste en efectuar las transformaciones bioquímicas que conllevan a la obtención de los compuestos necesarios para el buen desarrollo de la fermentación de mosto, utilizando esencialmente las enzimas sintetizadas o activadas durante el malteado (Romain *et al.*, 2010)

El proceso de maceración inicia al formarse una pasta que resulta de la mezcla entre malta molida y agua destilada, mediante un programa de temperaturas que va desde los 45 a 70 °C y agitación de 80-100 rpm (Figueroa, 1985). Esta mezcla es recuperada en una caldera de empastado donde se realizan varios tratamientos térmicos, que permiten controlar la degradación de las paredes celulares (por las β -glucanasas), la proteólisis y finalmente la degradación amilolítica, en función de las condiciones óptimas de la actividad de las enzimas implicadas (Romain *et al.*, 2010).

La maceración inicia con un período de peptonización durante 30 min, donde además de liberarse los almidones y proteínas solubles, se activan las enzimas proteolíticas, con valores óptimos de activación de 50 a 60 °C. En la tabla 2, se describe el efecto de la temperatura durante la maceración de la malta. Después de este período de elevada peptonización, se incrementa la temperatura a 1 °C por minuto hasta alcanzar los 70 °C, momento en el cual se produce la licuefacción del almidón y conversión de azúcares fermentables. Posteriormente, los gránulos de almidón absorben gradualmente agua, hasta que la masa espesa adquiera una consistencia gelatinosa, este proceso se conoce como gelatinización (Figueroa, 1985). Según Bamforth, (2005), las enzimas degradadoras de almidón son las amilasas, estas se producen durante el malteado, pero solo actúan después de la gelatinización del almidón dentro de la cuba de macerado. Una vez alcanzado este nivel térmico, la temperatura se mantiene por 60 minutos hasta que la conversión sea completa, esta fase es conocida como sacarificación (Figueroa, 1985).

Tabla 2. Efecto de la temperatura en la maceración en la malta

| Temperatura (°C) | Descripción |
|------------------|---|
| Entre 10 y 35 | Actividad de las enzimas proteolíticas |
| | Continuación de los fenómenos de la germinación |
| Entre 45 y 52 | Temperatura de peptonización |
| | Zona importante de actividad de proteasas |
| Entre 55 | Temperatura óptima de formación de N soluble no coagulable |
| Entre 53 y 62 | Formación de maltosa muy fácilmente fermentable |
| Entre 62 y 65 | Formación máxima de maltosa |
| Entre 65 y 70 | Formación decreciente de maltosa y creciente de dextrinas |
| Entre 70 | Destrucción de proteasas |
| Entre 70 y 75 | Aumento de la velocidad de sacarificación. formación de dextrinas y azúcares fermentables en menor proporción |
| Entre 76 | Temperatura límite de sacarificación |

Fuente: Callejo, 2002

La maceración busca la sacarificación del almidón, es decir, la completa degradación del almidón a maltosa y dextrinas por acción de las amilasas (Callejo, 2002). En el almidón se distinguen dos tipos de gránulos: los gránulos grandes con un diámetro comprendido entre 10 y 25 μm , que representan un 10 % del número de gránulos de almidón y el 90 % del peso del almidón; estos poseen una temperatura de gelatinización de 61 a 62 °C y los gránulos pequeños de almidón, con un diámetro comprendido entre 1 y 5 μm , que representan el 90% del número de gránulos de almidón y el 10 % del peso; cuya temperatura de gelatinización es de 75 a 80 °C (Romain *et al.*, 2010).

Finalizado el macerado, las enzimas se encuentran inactivas y termina el proceso de transformación de la malta en mosto (Figuroa, 1985). El mosto es el líquido rico en azúcares fermentables, aminoácidos y péptidos asimilables por la levadura (Romain *et al.*, 2010) que se extrae de la malta mediante los procesos de macerado y separación del mosto (Bamforth, 2005) El rendimiento del macerado está determinado por los siguientes factores: calidad de la malta utilizada,

composición del agua utilizada, proporción agua/molienda, pH del macerado, temperaturas de maceración (61-72°C). Cuando se macera a temperaturas de 62 a 64°C se obtiene el contenido más alto posible de maltosa y la mayor atenuación límite.

Los mostos ricos en maltosa fermentan más rápidamente y mantienen durante más tiempo la levadura en suspensión. En el trabajo de Diaz, (2016) sometió las cebadas malteadas al proceso de maceración. El proceso consistió en mezclar las maltas con agua destilada en una relación de 1:7 (p/v), a 45 °C y agitándolas continuamente de 80-100 rpm. Aplicaron temperatura-tiempo en un equipo macerador, donde elevaron la temperatura de la mezcla en etapas secuenciales: una peptonización durante 30 min a una temperatura de 45 °C por 15 min, sacarificación a una temperatura de 70 °C por 60 min; y, enfriamiento del mosto, a una temperatura de 20 °C, por 30 min.

Para el macerado según Ruiz, (2006) lo realizó bajo el método (EBC., 2003) método mediante macerado en agua caliente de la manera siguiente tomaron 12.5g de malta molida, adicionaron 90ml de agua a 65°C ± 0.5°C, la muestra la mantuvieron bajo la temperatura anterior durante una 1 hora. Posteriormente, se elevó la temperatura a 70°C ± 0.5°C y se adicionaron 100ml de agua.

Gonzales (2016) en la etapa del macerado consistió en mezclar la malta molida con agua, con una proporción de agua de 2,5 a 3,5 L por kg de malta, se debe calentar el agua a 75°C y posteriormente al mezclarla con el grano, esta bajará unos 10° aproximadamente, quedando una mezcla a una temperatura de 65°. Se debe mantener esta temperatura constante de 60 a 120 minutos hasta que las enzimas terminen la conversión de los almidones en azúcares fermentables.

2.6. Calidad fisicoquímica en el grano de cebada

La calidad maltera en la cebada es un carácter complejo que depende además de las propiedades físicas del grano, de las enzimas sintetizadas durante el proceso de germinación (Thomas *et al.*, 1996). No obstante, el grano de cebada para maltería, debe cumplir con parámetros específicos que involucran características físicas de los mismos (tamaño, color, peso del grano), hasta propiedades químicas (humedad, capacidad germinativa, contenido de nitrógeno, proteína, densidad aparente entre otros (Callejo, 2002). La calidad de la cebada es un aspecto sumamente importante para la industria maltera. La producción de cebada calidad

maltera tiene como base el conocimiento de los procesos de germinación de las especies objeto de interés. Estos procesos germinativos se pueden ver afectados por el estado general de las semillas y su viabilidad.

En cuanto al almacenamiento y conservación de la cebada maltera, el principal problema reside en lograr mantener el máximo poder germinativo, ya que no se puede convertir en malta una semilla que no germine. Una cebada maltera que presente daños en su poder germinativo ha perdido todo su valor para la industria maltera y podrá ser utilizada solamente como forraje. En la (NMX-FF-043-SCFI, 2003), hace referencia a propiedades fisicoquímicas de la cebada. El grano debe tener entre 11.5 y 13.5% de humedad, poseer una germinación mínima de 85%, impurezas 2%, grano dañado hasta 10%, mezclas de otras variedades hasta 10%, peso por hectolitro (es el peso de un hectolitro de grano de la muestra original libre de impurezas expresado en kilogramos; kg/ HL), en cebadas de seis hileras como mínimo 56 kg/ HL, mientras que en cebadas de dos hileras esta debe tener como valor mínimo 58 kg/ HL; además, las características organolépticas del grano deben ser las adecuadas cuidando que el grano no este sucio, dañado, manchado, pintado o contaminado, que no tenga un olor a putrefacto, rancio, alcoholizado, de algún químico, entre otras.

2.6.1. Tamaño

Antes de ser puesta a germinar, la cebada ha de ser sometida a un proceso de limpieza y clasificación para obtener lotes con características (tamaños) homogéneos, que serán puestos a germinar separadamente unos de otros. Los granos de cebada de distintos tamaños no se comportan de la misma forma durante el malteo, ni en las propiedades de la malta obtenida. También se descartan granos muy grandes pues su tiempo de rehidratación es mayor lo que perjudica la germinación uniforme (Hough, 1995). Se observan diferencias importantes en cuanto a: extracto, poder germinativo, nivel de desagregación, cantidad de proteína soluble, etc.

El grano de cebada de acuerdo al porcentaje que queda retenido en los tamices I, II y III, se clasifica en los siguientes: grano de cebada de primera aquella cantidad de grano de cebada que queda retenida sobre los tamices I (2,8 mm) y II (2,5 mm) y, que se encuentra libre de impurezas. Grano de cebada de segunda. Aquella cantidad de grano de cebada que queda retenida sobre el tamiz III (2,2 mm) y, que se encuentra libre de impurezas. (NTE INEN 1559, 2004)

2.6.2. Peso de mil granos

Es señal de buena madurez e indica la acumulación de nutrientes en el grano. Se expresa en gramos de materia seca por mil granos. Está en función del tamaño, densidad y uniformidad del grano (Coca y Fajardo, 1988). Los rangos de calidad establecidos por la industria cervecera, indican para cebada, un peso de mil granos entre 37.1 y 42 g. En el trabajo de Diaz, (2016), únicamente el 33,33 % de los 15 genotipos evaluados, obtuvieron rangos dentro de lo indicado anteriormente, sin embargo estudios realizados por otros autores, registran un rango de peso de mil granos entre 46 y 55 g (Rivas y Barriga, 2002), lo que quiere decir que el 40 % de los genotipos que tienen valores superiores a 42 g, también pueden ser considerados dentro del estándar.

2.6.3. Color del grano

Se determina por medio de un colorímetro, mediante la interpretación del color por el método CIELAB el color se mide sobre la superficie del grano y se obtienen de L= claridad, tono, "a" coordenada de rojo a verde y "b" coordenada de amarillo a azul. En el trabajo de Diaz, (2016) determinaron las coordenadas a y b que oscilaron entre valores positivos a+(naranja), b+ (amarillo), el ángulo (H) varió entre 68,40 a 71,83 °, la cromaticidad (C) entre valores de 17,21 a 20,81, 0 (oscuro) y 100 (saturado), y la luminosidad (L) entre valores de 0 a 100. Se observa que las coordenadas colorimétricas a y b, presentan valores positivos en el eje "y", la intensidad del color, expresada en el croma (C), en promedio fue de 18,78; los valores proyectados en el ángulo H°, están dentro de la coloración del grano, cuyo estándar va desde un amarillo claro hasta un azul verdoso. El color del grano puede estar influenciado por el intemperismo o por la coloración de la aleurona (Figueroa, 1985).

2.6.4. Peso hectolitro

Depende de la variedad, forma del grano y acumulación de nutrientes se expresa en kilos por cien Litros. El peso hectolitro se debe incluir dentro de los parametros de calidad con el fin de conocer el estado físico de los genotipos en relación al nivel de impurezas, presencia de granos dañados, quebrados y enfermos. Se relaciona con la textura del endospermo o con el contenido de proteína, por lo que es un parámetro muy importante en la industrialización de la cebada maltera, sus valores influyen directamente en el rendimiento y la calidad de los productos terminados(González *et al.*, 2013). Este parámetro es

muy significativo para la comercialización de granos y su transporte, ya que define la cantidad de materia seca de grano que hay en un volumen determinado lo cual incide en la capacidad maltera del mismo (Borneo, 2012). Con respecto a la variable peso hectolítrico de las cebadas evaluadas por Diaz, (2016) se evidencio que únicamente el 6,66 % de genotipos registran valores promedio dentro del rango de calidad establecido por la industria cervecera, el cual oscila entre 56 y 58 kg/HL, mientras que el 91,66 % de genotipos reflejan promedios superiores a 58 kg/HL(Figueroa, 1985).

2.6.5. Vigor germinativo

El objetivo del trabajo de Méndez *et al.*, (2011) fue comparar métodos analíticos, para evaluar el poder germinativo de granos de *Hordeum Distichon L.*, de granos cultivados en tres municipios de Hidalgo, México. Se emplearon técnicas reportadas en las normas, como la escarificación de semillas con ácido sulfúrico o la técnica del peróxido de hidrógeno, que incrementan la germinación por ablandamiento de la testa y aumentan la permeabilidad de agua y oxígeno y se comparan con otras técnicas colorimétricas como la del tetrazolio.

Otra técnica evaluada fue la colorimétrica del índigo carmín, reportada por otros autores, que de forma contraria, produce coloración de las partes no viables de la semilla y fueron comparadas con la de germinación natural en agua. Los resultados demostraron que las pruebas colorimétricas resultaron mejores predictoras del poder germinativo y que la prueba del índigo carmín resulta ser factible y más económica, concluyendo que los métodos de tinción colorimétricos como los propiamente germinativos ambos se comportaron como buenos predictores, sin embargo el método del índigo carmín, a pesar de no estar reconocido en las normas internacionales ofrece ciertas ventajas con relación al método del tetrazolio por cuanto ofrece resultados más elevados de la facultad germinativa y con menores desviaciones estándar lo que indica cierto grado de mayor precisión además de ser mucho más económico por el costo del reactivo y su estabilidad y durabilidad en solución acuosa.

Se debe destacar que las semillas que no germinan por haber sufrido daños durante la cosecha o su posterior almacenamiento se transformarán en focos de infección de la malta, además de alterar los procesos siguientes de malteo y de cerveza. No habrá dificultades para conservar el poder germinativo en una cebada correctamente cosechada, con no más del 12,5% de humedad y condiciones

normales de almacenaje (Ochandio *et al.*, 2010). La limpieza y desinfección previa de los silos, la conservación de las semillas a una temperatura inferior a los 25°C, un riguroso control de insectos e inspecciones periódicas para verificar el poder germinativo son factores decisivos para un correcto almacenaje de la cebada (Tomaso, 2004). En consecuencia, todo grano que no germine afecta, en gran medida, la calidad industrial del producto final, la eficiencia del proceso y por su puesto el valor comercial

2.6.6. Contenido de humedad, proteína y cenizas

El objetivo principal de la investigación de López *et al.*, (2007) fue determinar la composición fisicoquímica de las diferentes variedades de cebada que se cultivan en los estados de Hidalgo y Tlaxcala, a partir de su composición estimar sus usos potenciales en la industria de alimentos, de las cuales 4 de las 7 variedades son las más apropiadas para la elaboración de maltas y cerveza porque su contenido de proteína está dentro del límite máximo de 11.5%. Asimismo, evaluaron el contenido de humedad que es un indicador de la calidad de manejo y almacenamiento, todas las variedades estaban dentro de la norma al tener un rango de 10.1-12.4% de humedad. Las variedades al tener un contenido de humedad menor al crítico implican menos gastos en manejo del grano, además de ser menos propenso a deteriorarse (pero también puede ser más susceptible al rompimiento) por otra parte el conjunto de variedades se encuentra entre los valores promedio reportados por distintos autores, los cuales van desde 10-14% (Callejo, 2002).

Con relación al contenido de cenizas las 7 variedades de cebada se encuentran dentro del rango establecido de 2 a 3% reportado por (Shewry, 1992) (Desrosier, 1999). La cebada tiene usualmente un contenido proteico de 7.5-15.6% (Dendy y Dobraszcyk, 2001). Las variedades del estudio se encontraban dentro de este rango proteico, lo cual oscilo entre ellas de 8.4-12.2%. El contenido de proteínas es de gran importancia para conocer cual es el empleo más apropiado que se le debe dar a cada una de las variedades. Para fines de alimentación animal y panificación se prefieren aquellos granos con alto contenido proteico como lo fueron tres variedades. Pero para obtener maltas pálidas y de alta calidad se prefieren con contenido de proteínas más bajo (entre 8.7-10.3%), a menor contenido de proteína mayor es el de almidon y puede extenderse también a una menor presencia de cascarilla (Hough, 1995). Además las proteínas pueden tener una influencia importante en el aporte de turbidez a las cervezas. El potencial de

extracción de malta disminuye con el aumento en proteína de la cebada, por lo que los requerimientos comerciales normales de cebada para malta estipulan como máximo 11.5%. (Hornsey, 1999).

2.7. EVALUACION FÍSICOQUÍMICA DEL EXTRACTO OBTENIDO DEL MACERADO

En los mostos obtenidos, se evalúan las siguientes variables físicas y químicas:

2.7.1. Tiempo de conversión, velocidad de sacarificación, hidrolisis de almidón

El tiempo de conversión es un parámetro que está vinculado a la calidad maltera; es de gran utilidad, ya que estima la velocidad de hidrólisis en el almidón durante el curso de la digestión en el macerador (Coca y Fajardo, 1988). De acuerdo con los rangos de calidad establecidos por la industria cervecera, el tiempo de conversión puede variar entre 5, 7 y 10 min como máximo (Figuroa, 1985). En el trabajo de Diaz, (2016), con respecto a este parámetro, se evidenció que la mayoría de los genotipos de cebada están dentro de lo establecido con un tiempo de conversión con porcentajes de 18,33%, 15 y 13,33%, solo un solo genotipo obtuvo un 3,33% en la conversión del almidón en azúcares durante la maceración.

Los tiempos promedio de la conversión del almidón para los genotipos de cebada fue entre 5 a 16 minutos. La prueba del tiempo de conversión se da por terminada, cuando al llegar a los 70°C, la solución de yodo al entrar en contacto con la mezcla de malta y agua destilada, alcanzan el punto acrómico, en un tiempo máximo de 5 a 10 min; un lapso superior a lo establecido, puede implicar una deficiencia de las enzimas α y β amilasas que transforman el almidón soluble en azúcares. Cabe mencionar que el factor que influye en el tiempo de conversión es la molienda, si ésta es gruesa, la extracción de azúcares será escasa y el rendimiento del grano será bajo, lo cual influenciará de manera negativa en la calidad final del mosto (Gigliarelli, 2008).

2.7.2. Color

En distintas maltas, el color de los mostos puede diferenciarse por la naturaleza de sus componentes biológicos; sin embargo, la coloración es más afectada por el grado de tostado al cual es sometida la malta (Figuroa, 1985). De los resultados obtenidos de Diaz (2016) se observó que el mosto de unos

de los genotipos presentó el mayor valor en promedio de croma (H) con 9,60 de 205,40. En general se evidencio que en los tratamientos, predominó la coloración amarillo claro (Cañizares *et al.*, 2007) mencionan que la intensidad de los cambios colorimétricos, tienen relación con el proceso de macerado aplicado, ya que la deshidratación modifica la textura del alimento y su reflectancia, cuanto más larga y elevada es la temperatura del proceso, se producen distintos cambios en las coordenadas colorimétricas. La A.S.B.C (American society of brewing chemists) establece como estándar el sistema de color Standard Reference Method (SRM) usando espectrofotometría. Esta expresión se aplico para determinar el color de los mostos y su valores estan reportados en el trabajo de (Hernandez,2001) con valores de 4,35-3,85—2,65 y 2,15 SMR para maltas claras. El color del extracto segun Arango, Rodríguez, & Valencia, (2010) para obtener cervezas lager tipo pilsen rondaran entre las 6-8 unidades de color EBC, al igual que (Briggs *et al.*, 2004) los valores típicos del color para mostos es de 4-8 EBC. Según la EBC., (1975), los mostos deben presentar un color inferior a 20 unidades EBC, aproximadamente entre 8, 0 y 10 EBC.

2.7.3. Gravedad específica

La densidad del mosto indica la cantidad de azúcares en solución, la densidad específica expresada como el peso de extracto en 100 gramos de solución, a la temperatura de 17,5°C. Cuanto más denso sea el mosto, más alcohol tendrá la cerveza acabada y mayor cantidad de lupulo necesitara: en los mostos más densos el α -ácido es menos efectivo y se necesita más amargor para contrarrestar el dulzor de la malta. Además los mostos densos requieren más tiempo para fermentar y muchas más tiempo de maduración (García y Álvarez, 2005) (Huxley, 2011). Los resultados obtenidos por (Hernández, 2001) de gravedad específica de las diferentes extractos de las malta con valores que oscilan entre 1.05370 y 1.04551.

2.7.4. Extracto aparente

Con respecto al porcentaje del extracto en peso, hay dos tipos de extracto uno que es el extracto aparente siendo el porcentaje teórico de la cantidad de materia de sólidos solubles que han pasado de la malta al mosto. Valores elevados indican alto rendimiento económico de la operación y que guardan relación directa con la gravedad específica. Se relaciona directamente con el rendimiento en litros de mosto. El contenido en extracto de la malta se determina sobre el mosto tras el

braceado y filtrado del mismo. El extracto se obtiene a partir del peso específico del mosto por medio de la tablas oficiales de ASBC. Dennis *et al.*, (2004) reportaron un intervalo de extracto aparente de 0,66% a 5,06%.

2.7.5. Acidez total

En Argentina, el código alimentario Argentino, es mucho más específico en cuanto a parámetros físico químicos. En este se establecen los rangos de acidez total expresada como ácido láctico $\leq 3\%$ p/p y de pH entre 4 y 5. Se reitera según (Boe, 1995), por el se aprueba la reglamentación técnico-sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de la cerveza y de la malta líquida, establece que el pH debe estar comprendido entre 3,5 y 5. Además, este decreto establece que la acidez total, expresada en ácido láctico, no será superior al 0,3 %.

2.7.6. pH

(Figuerola, 1985), reporta como una especificación de calidad un pH entre 5.60-5.90, para el mosto obtenido a partir de la malta de cebada de dos hileras. Adicionalmente (Ferran, 1959), indica que el cocimiento con lupulo aumenta de tal modo la acidez del mosto que su pH baja. (Hough, 1995), reporta datos típicos del mosto cervecero para fermentar con un pH entre 5-5.60, un mosto para que presente la facilidad de filtración debe tener un pH de 5.71, no pueden ser valores más altos que estos ya que tamponan el mosto.

En el trabajo de Hernandez, (2001) el pH de los mostos para los diferentes tratamientos los valores oscilaron entre 5.31 a 5.82.

2.7.7. Viscosidad

Influye en los procesos de filtración. Se expresa en centipoises (cp). El estudio de la viscosidad del mosto obtenido en laboratorio como índice de la disolución citolítica fue iniciado por Piratzky en 1936. Se expresaba en centipoisen (cp). Actualmente se usan los milipascales por segundo (mpa. s). La viscosidad del agua es igual a 1, 00 (mpa. s). La viscosidad está relacionada a la estabilidad y filtrabilidad del mosto y de la cerveza, así como al mantenimiento de la espuma. Está directamente relacionada al contenido en beta-glucanos y a la actividad de la beta-glucanasa producida durante el malteo. La beta-glucanasa degrada los beta-glucanos a compuestos glucosídicos de menor peso molecular. La mayor o menor actividad de esta enzima, tiene también influencia varietal. En 1976 Narziss evaluó la viscosidad del mosto de laboratorio de acuerdo a la siguiente escala:

Muy buena menos de 1, 53 mpa. s buena 1 ,53 - 1 ,61 mpa.s aceptable 1 ,62 - 1

,67 mpa. s inaceptable más de 1 ,67 mpa.s

2.7.8. Turbidez

Figueroa, (1985) indica que la turbidez en el mosto debe ser brillante o ligeramente opalescente, lo cual corresponde a unidades de atenuación de formacina inferiores a 13 FAU. En el trabajo de Diaz, (2016) se identificaron 27 rangos de significancia. En el primer promedio se ubicaron 8 de los extractos de la malta con 5 FAU y en el último rango estadístico, un extracto con 50 FAU. Es importante manifestar que generalmente los factores que producen turbidez en el mosto son la presencia de materia sin disolver, una deficiente modificación en el malteo, un secado incorrecto o una escasa modificación en el macerador; lo cual puede incidir directamente en la transparencia del líquido azucarado conocido como mosto. Se evidencio que con respecto a este parámetro, el 70 % de los mostos de los genotipos alcanzaron promedios dentro del valor establecido.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Establecer la aptitud cervecera de cebadas (*Hordeum distichum*) producidas en el Departamento de Boyacá con el fin de conocer sus características a través del maltaje

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

En este contexto, para la realización del proyecto se fijaron los siguientes objetivos específicos:

- 3.2.1. Determinar características fisicoquímicas del grano de cebada relacionadas con la aptitud cervecera.
- 3.2.2 Analizar el comportamiento de las cebadas durante el proceso tecnológico del maltaje.
- 3.2.3 Evaluar la calidad de las maltas elaboradas a partir de las características fisicoquímicas de macerado.

4. MATERIALES Y METODOS

A continuación se describen las actividades pertinentes que conllevaron al desarrollo y alcance de los objetivos propuestos.

4.1 MATERIAL VEGETAL

Se adquirieron cinco cebadas originarias de municipios del Departamento de Boyacá, cosechadas en el 2017, de variedad *Hordeum distichum* 2 hileras, las muestras de 5 kilogramos fueron adquiridas del molino San José del municipio de Duitama quien certificara su origen.

4.2. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DEL GRANO DE CEBADA RELACIONADAS CON LA APTITUD CERVECERA.

A las diferentes muestras de cebada se les realizó las características fisicoquímicas que se describen a continuación estos análisis se realizaron por duplicado.

4.2.1. Material extraño e impurezas

En una balanza gramera (marca HOAUS con sensibilidad de dos decimales), se pesaron 100 gramos de muestra y se seleccionó el material extraño (cascarilla, hojas, piedras, otras semillas, etc.), se pesaron, y se calculó el porcentaje de impurezas.

4.2.2. Tamaño del grano

El tamaño del grano se determinó según la norma (NTE INEN 1559, 2004) para ello, se tomaron 10 gramos de muestra de cebada sin impurezas se clasificaron por tamaño utilizando un pie metro digital marca UBERMANN

Primer tamaño superior a 2,5 mm;

Segundo entre 2,5-2,2 mm

Tercer tamaño inferior a 2,2 mm

4.2.3. Peso de 1000 granos

Para el peso de 1000 granos se aplicó el método analítico de tecnología de cereales menores sugerido por (Coca y Fajardo, 1988) para ello se contaron 200 granos seleccionados al azar y luego se pesaron en una balanza gramera

(HOAUS con sensibilidad de dos decimales). Para el cálculo se aplicara la siguiente ecuacion:

$$\text{Peso de mil granos} = 1000 * \text{peso de la muestra} / \text{N}^\circ \text{ Total de granos contados}$$

4.2.4. Peso hectolitrito

Se determino usando una probeta de 100 mL, llenándola con los granos de cebada tomando el peso de la semilla que ocupo dicho volumen.

4.2.5. Contenido de proteína

Se determino el contenido en proteína bruta del grano de cebada que resulta de multiplicar el contenido de nitrógeno por el procedimiento Kjeldahl por factor de transformación del nitrógeno en proteína descrito en la (AOAC, 1994), para ello, se utilizo un equipo acoplado con digestión y destilación marca BCHI.

4.2.6. Contenido de minerales

Se determino el contenido de minerales de la cebada y se calculo el residuo resultante después de la incineración en condiciones determinadas según el procedimiento descrito según la (AOAC, 1994). Para esta determinación se utilizo una mufla digital 2.2 marca E&Q con sensibilidad de 0,1°C.

4.2.7. Contenido de humedad

Este método se realizo triturando 10 gramos de muestra de grano y se colocaron 5 gramos de muestra en mufla a 110°C hasta obtener peso constante. El valor se expreso en términos de porcentaje de humedad según lo descrito en la (AOAC, 1990).

4.2.8. Determinación de color

Se uso un espectrofotómetro de esfera X-RITE con iluminante D65, observador 10° previamente calibrado y configurado. Se colocaron las muestras en una placa de Petri. Las medidas de color fueron expresadas por los valores especiales obtenidos a partir del sistema CIELa* b* (García y Calixto, 2000)

4.2.9. Vigor germinativo

Se determino el vigor o poder germinativo por la metodología modificada según Prieto et al. (2011), en donde se colocaron 50 semillas en remojo con agua destilada para reblandecer el endospermo por 18 horas y se sometieron las

semillas en una solución de índigo carmín (0,15 g por 100 mL de agua) durante 3 horas a temperatura ambiente. Pasado este tiempo las semillas se lavaron y se clasificaron en viables incoloras o pocas manchas e inviables semillas coloreadas. Con los resultados se determinó el porcentaje de semillas viables o poder germinativo.

4.3. COMPORTAMIENTO DE LAS CEBADAS DURANTE EL PROCESO TECNOLÓGICO DEL MALTAJE.

Se determinó el comportamiento de la cebada durante el proceso de maltaje por duplicado haciendo un seguimiento de temperaturas y contenido de humedad durante todo el proceso como se describe a continuación:

4.3.1. Remojo

Se pesaron 250 gramos de cebada y se sumergieron en un recipiente abierto con agua en relación 1:3 (cebada/agua) utilizando una temperatura entre 16°C y 18°C (maltas claras), hasta llegar a aumentar los niveles de humedad entre 35%-45%.

Se determinó el aumento de la humedad del grano o grado de imbibición de agua, según la (AOAC, 1990) descrito anteriormente. La determinación se realizó cada 6 horas hasta alcanzar el contenido de humedad del 35% a 45%.

4.3.2. Germinación

La germinación se realizó de acuerdo a lo sugerido por Mosher, (2015), en donde se eliminó el agua de los recipientes de remojo, se dejaron expuestas las cebadas a temperatura ambiente (17 – 22 °C) en donde se humedecieron y agitaron cada 8 horas, hasta que la plúmula salió y alcanzó el largo del grano. Se realizó un seguimiento de la temperatura y un registro fotográfico diario del proceso de germinación hasta que se obtuvo malta verde.

4.3.3. Secado

El secado se realizó en un horno de temperatura y aire controlado GERMMYCO (sensibilidad de 0,1 °C) y se siguió la metodología descrita por Hough (1982), en donde se redujo la humedad del grano de 45% hasta 4 o 5% durante 30- 45 horas, se realizó en dos etapas. La primera etapa se llevó a cabo a temperaturas de 55°C a 60°C, hasta llegar a 12% de humedad; en la segunda etapa, se utilizaron temperaturas entre 65°C y 75°C hasta que se alcanzó la humedad final entre 4% ó

6%. Durante el secado se realizó un seguimiento del descenso del contenido de humedad a través del método (AOAC, 1990) descrito anteriormente.

4.4 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS MALTAS ELABORADAS A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS.

Una vez se obtuvieron las maltas fueron almacenadas herméticamente en bolsas de polietileno de baja densidad, con el fin de impedir la humectación. Después, se analizaron los siguientes parámetros por duplicado y se compararon con tres maltas base industrial.

4.4.1. Determinación de color

Se usó un espectrofotómetro de esfera X-RITE con iluminante D65, observador 10° previamente calibrado y configurado. Se colocaron las muestras en una placa de Petri. Las medidas de color fueron expresadas por los valores especiales obtenidos a partir del sistema CIELa* b*(García y Calixto, 2000)

4.4.2. Macerado de las maltas

Se tomaron 150 gr de cada una de las maltas obtenidas en el laboratorio y 150 gr de malta industrial, se procedió a realizar una reducción de tamaño por separado en un molino manual (marca corona). Seguidamente, se utilizó el protocolo de maceración según Briggs *et al.*, (2004), se depositó en un filtro de tela 100 gr de malta molida y sobre un recipiente de 1000 mL se sumergió la malta con 500 mL de agua destilada a 70°C. Los recipientes fueron llevados a una incubadora a 67 °C durante 90 minutos con agitación periódica. Cada 15 minutos se determinó los sólidos solubles (°Brix) con el fin de establecer el tiempo de sacarificación de los almidones por las enzimas diastáticas. Los sólidos solubles (°Brix) se midieron por lectura directa en refractómetro según la AOAC, (1994), se utilizó un refractómetro digital (REICHERT).

4.4.3. Características fisicoquímicas de los macerados

Los macerados obtenidos fueron filtrados y se analizaron los parámetros de calidad que permitieron definir la aptitud cervecera de las cebadas. Estos parámetros se realizaron por duplicado:

4.4.3.1. Color

Se usó un espectrofotómetro de esfera X-RITE con iluminante D65, observador 10° previamente calibrado y configurado, las muestras del mosto se

colocaron en una celda de medición. Las medidas de color fueron expresadas por los valores especiales obtenidos a partir del sistema CIELa* b* (García y Calixto, 2000)

El color también se determinó por el método espectrofotométrico según la norma GTC 4/1994, usando un espectrofotómetro GENESYS 10UV. Se tomó una muestra en una celda de 1 Cm de recorrido óptico, y se midió la absorbancia a 430nm. Los resultados fueron expresados en términos de grados SMR (Standard Reference Method) y EBC (European Brewing Convention).

4.4.3.2. Gravedad específica

La determinación se realizó por gravimetría, se empleó un picnómetro previamente tarado con referencia al agua a la temperatura de 20/20°C, según la norma GTC 4/1994

4.4.3.3. Extracto aparente

Con los resultados obtenidos de la gravedad específica se calculó el extracto aparente a partir de las tablas con valores establecidos según la norma GTC 4/1994.

4.4.3.4. Acidez total

Se determinó por titulación de una muestra de mosto, con una solución de NaOH al 0,1N hasta pH de 8,2, el resultado se expresó como porcentaje de ácido láctico necesario para neutralizar 100 gramos de mosto (AOAC, 1994).

4.4.3.5. pH

El pH se determinó por el método potenciométrico se tomó una muestra haciendo la medición de forma directa (AOAC, 1990).

4.4.3.6. Turbidez

La turbidez del mosto se determinó en un turbidímetro HACH 2100N calibrado con patrones de formazina, con compensación de temperatura. Se depositó una muestra de 30 mL en una celda, se colocó en el equipo y se hizo la lectura directa. Los resultados fueron expresados en términos de FTU (Unidades de turbidez de formazina).

4.4.3.7. Viscosidad

La viscosidad del mosto se realizó según la norma técnica colombiana NTC 4909/2001. Para ello se utilizó un viscosímetro digital Brookfield a 50 rpm, se usó la aguja N° 1 a temperatura de calibración del equipo. Se usaron 600 mL de muestra.

4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS

Los datos obtenidos de los tres objetivos se analizaron estadísticamente utilizando el paquete de software estadístico SPSS a través de la técnica del análisis de la varianza (ANOVA un factor) valores medios \pm desviación estándar con comparaciones múltiples post hoc DMS con un grado de significación del 0,05 y así se estableció la cebada con mejor aptitud cervecera.

5. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL GRANO DE CEBADA RELACIONADAS CON LA APTITUD CERVECERA.

Los parámetros de calidad para la cebada maltera hacen referencia a propiedades fisicoquímicas, indicando que el uso de granos de calidad es de gran importancia durante el malteado. A continuación se presenta los resultados de las características del grano de cebada, en cuanto al análisis selectivo (entero, quebrado e impurezas), tamaño, peso de mil granos, peso hectolitro, color, cenizas, humedad, proteína y vigor germinativo.

Con relación al análisis selectivo, se puede observar (tabla 3) que tres de las cinco cebadas tienen más del 85% de grano entero (municipios de Socha, Floresta y Duitama), por el contrario la cebada proveniente del municipio de Pesca y Tuta son las que presentan porcentajes mayores del 21% de grano quebrado (partido y/o dañado). En cuanto al porcentaje de impurezas (semillas y cascarillas) las cinco presentan menos del 2%. Dicho esto se puede indicar que el uso de granos de cebada de Socha, Floresta y Duitama cumplen con los parámetros y especificaciones de calidad maltera en cebada establecidos por la norma mexicana NMX-FF-043-SCFI del 2003, la cual indica que una cebada debe tener un mínimo de 85% de grano entero, un máximo de granos quebrados/dañados del 15% y un porcentaje de impurezas máximo del 2%.

Tabla 3. Análisis selectivo del grano de cebada

| Cebada | Grano entero (%) | Grano quebrado (%) | Impurezas (%) |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Socha | 92,31 ± 3,34 ^a | 7,15 ± 3,46 ^a | 0,53 ± 0,13 ^a |
| Floresta | 89,57 ± 2,72 ^a | 8,86 ± 2,83 ^a | 1,56 ± 0,10 ^b |
| Duitama | 85,78 ± 2,50 ^a | 13,25 ± 2,60 ^a | 0,96 ± 0,27 ^c |
| Pesca | 77,10 ± 7,04 ^{ba} | 21,02 ± 6,79 ^{ba} | 1,88 ± 0,29 ^b |
| Tuta | 72,15 ± 11,34 ^b | 26,65 ± 11,64 ^b | 1,19 ± 0,30 ^{bc} |
| p-valor | 0,015 | 0,019 | 0,000 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$.letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

De otra parte los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos quienes evaluaron la composición fisicoquímica de siete diferentes variedades de cebada que se cultivan en los estados de Hidalgo y Tlaxcala, encontrando que solo una

cebada proveniente de Tlaxcala presento un alto porcentaje de impurezas (13.7%) no cumpliendo con la norma NMX-FF-043-SCFI del 2003.

El análisis estadístico de la varianza (ANOVA un factor) establece que entre los diferentes cebadas existen diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza con relación al grano entero, grano quebrado-dañado e impurezas. Mientras que la prueba de diferencia mínimas significativas (DMS) indicó que la cebada proveniente del municipio de Tuta no difiere con la del municipio de Pesca, pero si con las otras cebadas de los otros municipios en el grano entero, indicando que la cebada de Tuta presentó menor porcentaje de grano entero de las demás cebadas. Este mismo comportamiento sucede con el porcentaje de grano dañado. Por el contrario, en el porcentaje de impurezas se obtienen tres grupos homogéneos como son: grupo 1 conformado por la cebada de Socha con el menor porcentaje de impurezas, grupo 2 formado por la cebada de Floresta, Pesca y Tuta y un grupo 3 conformado por la cebada de Duitama y Tuta.

En la tabla 4, se muestra la clasificación de la cebada por tamaño (diámetro). Solamente las dos primeros tipos pueden considerarse cebada cervecera Tipo 1 (más de 2,5 mm de diámetro); Tipo 2 (2,2 a 2,5 mm de diámetro) y Tipo 3 (menos de 2,2 mm), que se paga como forrajera. En general las cinco cebadas presentan porcentajes altos en el primero y segundo tamaño, por lo que, se puede considerar que cumplen con las condiciones de comercialización de cebada cervecera. Asimismo, se puede evidenciar que al sumar los dos primeros tipos, todas las cebadas superan el 95% del total del grano, indicando la aptitud cervecera a partir de este parámetro. La norma EBC, especifica que el porcentaje de granos de cebada que superan el tamaño de 2,5 mm debe ser entre el 85 a 90% para considerarse fracción de exportación como cebada cervecera o como malta. En este caso ninguna de las cebadas presenta tal porcentaje.

Tabla 4. Clasificación del grano de cebada por tamaño en porcentaje

| Cebada | Tipo 1 Tamaño <2,5mm | Tipo 2 Tamaño 2,5- 2,2mm | Tipo 3 Tamaño >2,2mm |
|-----------------|------------------------------------|---|------------------------------------|
| Socha | 84,20 ± 2,85 ^a | 14,50 ± 2,76 ^a | 1,23 ± 0,37 |
| Floresta | 76,10 ± 2,23 ^b | 22,16 ± 2,45 ^b | 1,73 ± 0,45 |
| Duitama | 80,40 ± 5,95 ^{ab} | 17,40 ± 5,99 ^{ab} | 2,03 ± 1,11 |
| Pesca | 35,83 ± 4,17 ^c | 59,76 ± 3,10 ^c | 3,86 ± 1,04 |
| Tuta | 67,80 ± 3,86 ^d | 29,33 ± 4,30 ^{db} | 2,86 ± 1,58 |
| p-valor | 0,000 | 0,000 | 0,067 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

Se pudo establecer que entre las diferentes cebadas existen diferencias estadísticamente significativas en el tamaño tipo 1 y 2, mientras que en la clasificación tipo 3 no se presentaron tales diferencias estadísticas. El DMS mostró que, entre las cebadas de Socha y Duitama no existen diferencias significativas y son las que presentan mayor porcentaje de tamaño tipo 1, seguidas por Floresta y Tuta en donde no hubo tales diferencias estadísticas siendo estas con porcentaje intermedio y finalmente la cebada de Pesca que difiere estadísticamente de las demás y con el porcentaje menor que el resto de las cebadas en el tipo 1. Este mismo comportamiento estadístico sucede con la clasificación del grano en la tipología 2.

De otra parte, el comportamiento durante el malteo y, consecuentemente, las propiedades de la malta resultante están condicionadas por el tamaño del grano. Esta puede ser una de las razones por las cuales los granos de cebada de distintos tamaños no se comportaron de la misma forma durante el malteo, ni en las propiedades de la malta obtenida. Por esta razón se recomienda remojar y germinar siempre en forma separada los granos mayores de 2,5 mm, pues éstos se comportan en forma completamente distinta a la fracción 2,2 - 2,5 mm.

La densidad del grano de cebada representada en el peso de mil granos y el peso hectolitro de las diferentes cebadas (tabla 5) es muy variado. Ambas características dependen de la variedad, tamaño e indican la acumulación de nutrientes en el grano. Los valores del peso hectolitro influyen directamente en el rendimiento y la calidad de los productos terminados observándose que a mayor peso hectolitro mayor será el rendimiento que se obtendrá al final del proceso de malteado (González *et al.*, 2013).

Los rangos de calidad establecidos por la industria cervecera, indican para cebada, un peso de mil granos mínimo de 33 gr máximo de 42 gr. Se puede notar que solo tres de las cebadas (Floresta, Pesca y Tuta) se encuentran en el rango indicado, sin embargo estudios realizados por otros autores como Rivas y Barriga (2002), registraron un rango de peso de mil granos entre 46 gr y 55 gr por lo que la cebada de Socha y Duitama presentaron valores superiores a 42 gr, siendo considerados dentro del estándar. Asimismo según Tscheuschner (2001), el peso de mil granos en la cebada suele variar de 20-50 gr. De otra parte, al comparar los presentes resultados con los obtenidos por López *et al.*, (2005), quienes evaluaron siete variedades de cebada encontrando peso de 1000 grano entre 31 gr y 42 gr con la diferencia que seis variedades presentaron valores menores a 38,5 gr, presentando mayores valores las cebadas analizadas en este estudio. Asimismo, Ríos *et al.*, (2011) en Duitama y en Samacá (Boyacá, Colombia), determinaron el cruzamiento más deseable al combinar cuatro tipos de cebada, encontrando que, el peso de milgrano en Duitama osciló entre 41,43 y 46,80 gr, mientras que en Samacá estuvo entre 38,5

y 46,2 gr, siendo esos resultados similares a los obtenidos con excepción de la cebada del municipio de Pesca.

Tabla 5. Densidad del grano de cebada

| Cebada | Peso de 1000 granos (gr) | Peso hectolitro (Kg/HL) |
|----------------|---------------------------|---------------------------|
| Socha | 49,26 ± 0,59 | 66,19 ± 0,31 ^a |
| Floresta | 42,35 ± 0,21 ^a | 55,72 ± 1,53 |
| Duitama | 45,33 ± 0,92 | 66,10 ± 1,06 ^a |
| Pesca | 34,08 ± 0,07 | 59,47 ± 0,75 ^b |
| Tuta | 41,78 ± 0,75 ^a | 60,73 ± 0,66 ^b |
| <i>p-valor</i> | 0,000 | 0,000 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

Con respecto a la variable peso hectolítrico (HI) de las cebadas evaluadas, se evidencia que solo floresta registra el valor dentro del rango de calidad establecido por la industria cervecera el cual oscila entre 56 y 58 kg/HL, mientras que el resto de cebadas reflejan valores superiores a 58 kg/HL. Este mismo valor se reflejó en el estudio realizado por Díaz (2016) con el 91% de los genotipos de cebadas evaluados, sin embargo la EBC indica que las buenas cebadas cerveceras tienen valores que se sitúan entre 66 y 72 kg/HL indicando así que las cebadas estudiadas, se pueden considerar dentro de este estándar. De igual forma, los resultados obtenidos son comparables a los registrados por López *et al.*, (2005), en donde encontraron valores entre 60,8 y 77,6 Kg/HL.

El análisis estadístico de la varianza (ANOVA un factor) estableció diferencias significativas entre las cebadas analizadas para el peso de mil grano y el peso hectolítrico con un nivel de confianza del 95%. El DMS identificó que entra la cebada proveniente de la Floresta y Tuta no existen tales diferencias significativas, mientras que entre las otras cebadas fueron independientes una de la otra en el peso mil granos. Por otro lado, al utilizar esta misma prueba pos-hot para el peso hectolítrico se diferenciaron tres grupos homogéneos, conformados de la siguiente manera: grupo 1 (Socha y Duitama), grupo 2 (Pesca y Tuta) y grupo 3 (Floresta).

En la tabla 6, se presenta los resultados de color de la cebadas provenientes de los cinco municipios de Boyacá, en donde se identifica que la cebada de Socha es la que presenta una mayor luminosidad (L) con respecto a las otras cuatro presentando más brillantez o claridad en su superficie. Mientras que los valores positivos en la coordenada a* muestran muy poca presencia de colores rojizos,

siendo más predominante los valores positivos en la coordenada b^* que indica color amarillo.

Tabla 6. Color del grano de cebada

| Cebada | L | a^* | b^* |
|----------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| Socha | 54,30 ± 0,75 ^a | 4,99 ± 0,31 ^a | 27,62 ± 0,41 ^a |
| Floresta | 41,11 ± 4,11 ^b | 4,09 ± 0,12 ^b | 20,84 ± 2,76 ^b |
| Duitama | 45,74 ± 3,19 ^b | 4,48 ± 0,27 ^a | 24,66 ± 0,79 ^a |
| Pesca | 49,12 ± 4,15 ^b | 3,59 ± 0,21 ^b | 24,08 ± 0,84 ^{ba} |
| Tuta | 44,79 ± 1,49 ^b | 4,76 ± 0,52 ^a | 22,40 ± 0,20 ^{ba} |
| <i>p-valor</i> | 0,049 | 0,037 | 0,027 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

Castillo *et al.*, (2012) determinó que el color del grano de cebada en la escala de CIELab, presentaba valores promedios de luminosidad (L) de 69,43 y de las coordenadas a^* de 3,18 y b^* de 14,46, siendo estos valores muy cercanos a los reportados en el presente trabajo. Por consiguiente se puede indicar que la cebada tiende una luminosidad intermedia en la escala de 0 a 100, al igual que presentan tono ligeramente rojo y amarillo más acentuado, siendo estos resultados similares también a los obtenidos en la investigación de Díaz (2016) donde evaluó el color del grano de cebada de 15 genotipos.

El análisis estadístico de la varianza (ANOVA un factor) establece que entre los diferentes cebadas existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significancia del 95%

La composición química de la cebada varía significativamente dependiendo de la variedad y del tipo, debido a que es influenciada por factores genéticos y climáticos, tipos de suelo y de cultivo (Matus y Redondo, 1997). En la tabla 7 se muestran los resultados de aspectos químicos como cenizas, humedad y proteína siendo muy variados para las cinco muestras de cebada originarias de Boyacá.

En relación al contenido de minerales la mayor parte de las cebadas presentan valores mayores al 2%, mientras que la cebada de la Floresta presenta tan solo 1,69% en promedio. Por otro lado, el contenido de humedad se encuentra entre 12,77% y 14,95%. La variación entre las variedades puede estar influenciada por la composición del suelo en el cual fueron cultivadas cada una de ellas, los fertilizantes utilizados y otros factores ambientales pueden influir en el contenido de material inorgánico de los cereales, es por ello que existe una variación de cenizas de 2.0-3.1% en cebada (Dendy y Dobraszczyk, 2004; Shewry, 1992; Desrosier, 1999). Entre las cebadas analizadas se observó una diferencia

estadísticamente significativa, mientras que con la prueba DMS se pudo evidenciar tres grupos homogéneos, un primer grupo conformado las cebadas provenientes de Socha, Duitama y Tuta; un segundo grupo por la cebada de la Floresta y un tercer grupo conformado por la cebada de Pesca.

Tabla 7. Composición química en porcentaje del grano de cebada

| Cebada | Cenizas | Humedad | Proteína |
|----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Socha | 2,07 ± 0,14 ^a | 12,77 ± 0,67 ^a | 8,10 ± 0,00 ^a |
| Floresta | 1,69 ± 0,07 ^b | 13,64 ± 0,12 ^a | 7,01 ± 0,01 ^b |
| Duitama | 2,01 ± 0,00 ^a | 14,95 ± 0,00 ^b | 10,94 ± 0,02 ^c |
| Pesca | 2,53 ± 0,12 ^c | 13,66 ± 0,37 ^a | 11,18 ± 0,00 ^d |
| Tuta | 2,28 ± 0,05 ^a | 13,95 ± 0,00 ^a | 11,61 ± 0,01 ^e |
| p-valor | 0,002 | 0,013 | 0,000 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

El contenido de humedad es un indicador de la calidad de manejo y almacenamiento de cada variedad. La norma establece un rango de humedad entre 11,5-13,5% (NMX-FF-043-SCFI-2003), en este sentido cuatro de las cebadas estudiadas no están dentro de la norma al tener un rango de 13,64-14,95% de humedad. Por otra parte, la cebada proveniente de Duitama presenta una humedad mayor de 14,95% considerada para cereales en general como crítica, ya que es susceptible al crecimiento y proliferación de hongos y levaduras. Mientras que el resto se encuentran entre los valores promedio reportados por distintos autores como Andersson *et al.*, (2001) los cuales van desde 10-14%.

En el análisis estadístico de la varianza (ANOVA un factor) se estableció que entre los diferentes cebadas existen diferencias estadísticamente significativas a un nivel de significancia del 95% en el contenido de humedad, pero la prueba DMS mostró que las cebadas de Socha, Floresta, Pesca y Tuta son similares, mientras la cebada proveniente de Duitama presentó diferencias significativas con respecto a las otras cebadas.

Por otro lado, según Dendy (2004) la cantidad de proteína difiere notablemente en las distintas cebadas por la fuerte interacción entre el genotipo y las condiciones ambientales que prevalecen durante el desarrollo y maduración del grano. Las cinco cebadas analizadas en este estudio tienen contenido de proteína diferente (tabla 7). La cebada tiene usualmente un contenido proteico de 7,5-15,6% (Dendy, 2004, (Romain y Croguennec, 2010) Las cebadas del estudio se encuentran dentro de este rango proteico, el cual oscila entre ellas de 8,10-11,61% a excepción la cebada originaria de la Floresta quien presentó el menor contenido proteico.

Asimismo, el contenido de proteínas es de gran importancia para conocer cuál es el empleo más apropiado que se le debe dar a la cebada. Para fines de alimentación animal y panificación se prefieren aquellos granos con alto contenido proteico, pero la cebada para ser considerada como maltera debe cumplir parámetros específicos de calidad con un contenido de proteína entre 8,3 a 12,3% según lo establecido EBC, 2003. De acuerdo a lo anterior las cebadas provenientes de los municipios de Boyacá cumplen con esta característica, exceptuando la cebada proveniente de la Floresta.

Al presentar las cebadas un contenido de proteína bajo, se puede deducir que el contenido de almidón es alto y poco en el contenido de cascarilla y considerando con lo que dice Hough (1995) un malteador busca cebadas con un bajo contenido en proteína y con poca cantidad de cascarilla. En este sentido, todas las cebadas excepto la proveniente de Tuta al no presentar un contenido de proteína mayor de 11,5% como lo estipula los requerimientos comerciales de cebada para malta (Hornsey, 1999), tienen un efecto positivo en el extracto, presentando también, tiempos cortos de germinación (Callejo, 2002; Huges, 1999 y Wilde, 1997). Los resultados del análisis de la varianza que existen diferencias estadísticamente significativas en el contenido de proteína presente en las cebadas a un nivel de significancia del 95%, indicando la prueba de DMS que cada cebada difiere una de la otra en este contenido de proteína.

El poder o vigor germinativo que es quizás la principal característica de una cebada cervecera, ya que todos los granos deberían germinar durante el malteo. Los granos que no germinan no contribuirán en la producción de enzimas ni transformación de almidón en azúcares fermentables y serán más atacados por los microorganismos durante la germinación. Según la norma NTE-INEN-1-559 una cebada debe presentar un mínimo del 85% de germinación para ser considerada como ideal para ser transformada en malta. En este sentido en la tabla 8 se pueden ver los resultados de poder germinativo, en donde se puede apreciar que la cebada de la Floresta alcanzó un 98% de germinación, indicador que permite evaluarla como alta calidad con un 98%. Por su parte, las cebadas de Socha, Pesca y Tuta se clasifican dentro de la norma mínima con un 85%, mientras que la cebada de Duitama no cumple con las especificaciones establecidas por la norma antes mencionada, siendo una causa para no ser comercializada para fines malteros por su bajo poder germinativo.

Tabla 8. Porcentaje del vigor germinativo del grano de cebada.

| Cebada | Porcentaje de germinación |
|----------------|---------------------------|
| Socha | 88,00 ± 5,65 ^a |
| Floresta | 98,00 ± 0,00 ^b |
| Duitama | 81,00 ± 1,41 ^c |
| Pesca | 88,00 ± 0,00 ^a |
| Tuta | 89,00 ± 1,41 ^a |
| <i>p-valor</i> | 0,013 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

El análisis de la varianza mostró diferencias estadísticamente significativas entre las cebadas para el porcentaje de germinación. Asimismo, la prueba DMS indicó que las cebadas de Socha, Pesca y Tuta son similares. Mientras que, por su parte la cebada de la Floresta y Duitama son diferente entre ellas y con las demás cebadas analizadas.

Desde el punto de vista selectivo del grano, las cebadas provenientes de Socha, la Floresta y Duitama presentaron mayor porcentaje de grano entero y menor cantidad de impurezas y grano partido, haciéndolas más aptas para el proceso de malteado ya que se puede obtener mayor rendimiento. De igual forma son las que presenta mayor porcentaje de grano de mayor tamaño por lo que se puede indicar que el proceso de maltaje es mejor y más homogéneo, manifestándose en el peso de 1000 granos. En relación a las características químicas a pesar de haber diferencias estadísticas en cuanto a las cenizas, humedad y proteína cumplen con los parámetros para ser aptas para cervecería. Finalmente, todas las cebadas presentaron un alto poder o vigor germinativo todas las cebadas exceptuando la cebada proveniente de Duitama. En síntesis desde las características fisicoquímicas de las cebadas las que presentan mejor aptitud cervecera son las de Socha y Floresta seguidas por Tuta, Pesca y Duitama respectivamente.

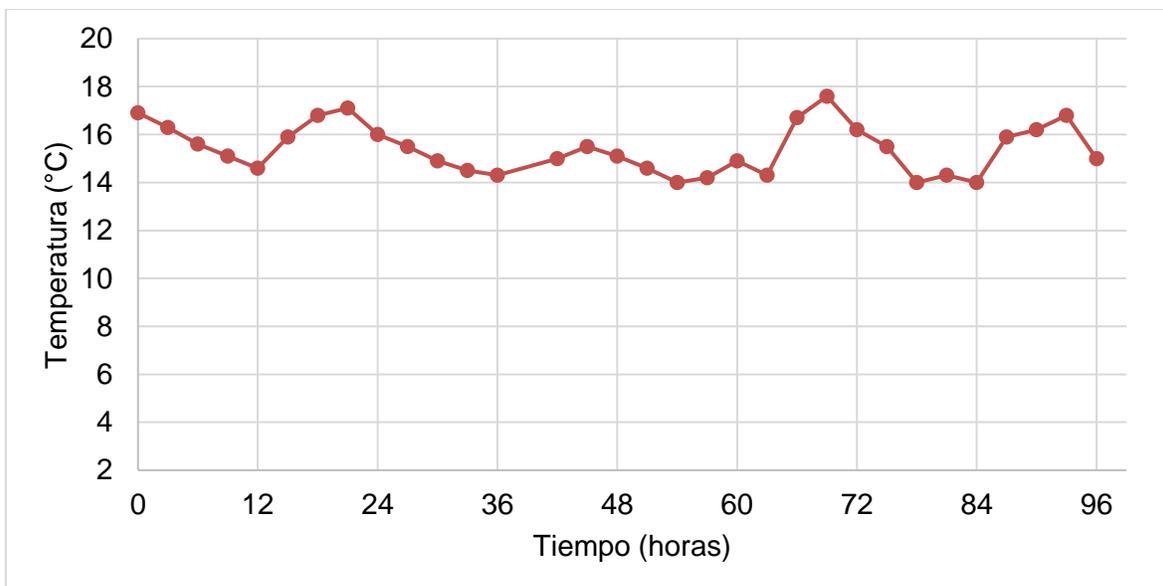
5.2 COMPORTAMIENTO DE LAS CEBADAS DURANTE EL PROCESO TECNOLÓGICO DEL MALTAJE.

En el proceso de maltaje la cebada se establece las características fisicoquímicas y organolépticas que serán transferidas a la cerveza. Este consiste en tres operaciones básicas, que son remojo, germinación y secado. A continuación se muestra los resultados obtenidos del seguimiento y control del contenido de humedad y temperatura durante el proceso.

5.2.1. Remojo

De acuerdo a las condiciones que se establecidas para llevar a cabo el proceso de remojo, se puede observar en la gráfica 1 el seguimiento de la temperatura en donde el rango de temperatura del recinto donde se realizó el remojo fue entre 14 y 18°C concordante con la propuesta la cual fue entre 16-18°C para llegar a la humedad deseada 40-45% (maltas claras) en un tiempo de 2 días según lo propuesto por Briggs (1998), Wolfgang (1999) y (Bamforth (2005).

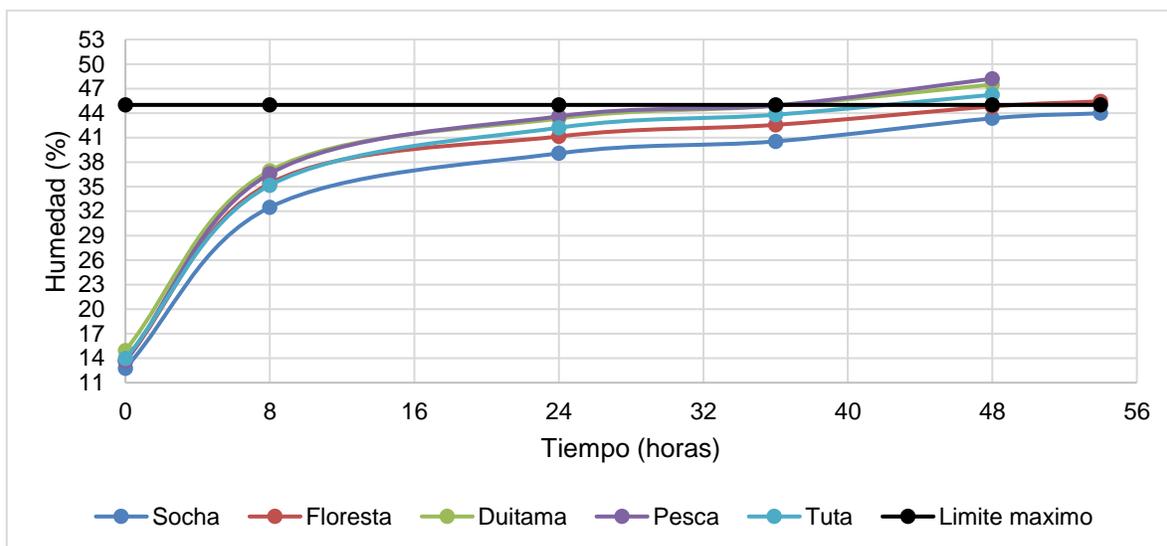
A temperaturas entre 14 y 17,6°C favorece la formación de las enzimas necesarias para la germinación, ya que si la cebada se germina a temperaturas mayores que 20°C la formación y capacidad enzimática es menor (Anderson *et al*, 2000; Figueroa, 1985). Agus Palmer *et al.*, (1996) reportaron que temperaturas próximas a los 17 y 20°C son óptimas para la germinación de cebadas cerveceras, por lo que en este estudio como se observa en la gráfica 1 la temperatura utilizada fue la ideal evaluar la aptitud cervecera de la cebada originaria de Boyacá.



Grafica 1. Seguimiento de la temperatura durante la germinación

El remojo es una fase crítica que depende en gran medida la capacidad de germinación del grano, y marca el comienzo de la síntesis y de reacciones enzimáticas que proseguirán durante la germinación (French y McRuer, 1990). Este proceso consiste en suministrar agua al interior del grano con el objetivo primordial de incrementar su humedad hasta 40-45% (EBC., 2003). En este sentido, en la gráfica 2, se muestra el comportamiento de las cebadas durante el tiempo de remojo, en donde se observa que en las primeras ocho horas hay una imbibición acelerada de agua por parte de las cebadas, pasando de una humedad

inicial promedio de 13,5% hasta un 35%. Posteriormente, a medida que pasa el tiempo de remojo la absorción de agua se hace más lento hasta alcanzar el 44% de humedad promedio sobre las 48 horas. La cebada proveniente de Socha el aumento de la humedad fue un poco más lento a comparación del resto. De otra parte las cebadas de Socha y Floresta requirieron de 52 horas para incrementar su humedad hasta 40-45%.



Grafica 2. Aumento de la humedad del grano de cebada durante el remojo

La imbibición de agua por la cebada entre hora inicial a las 8 y 24 horas la absorción de agua fue rápida, debido a que el embrión toma más rápidamente agua en cambio a partir de las 36 horas el endospermo sufre una hidratación más lenta. Asimismo, el grano de cebada de Socha tiene una capacidad de hidratación más lenta en comparación con el resto de las cebadas, debido a que esta presenta el porcentaje más alto del grano en cuanto al tamaño de 2,5mm siendo el comportamiento de estos granos diferente al tamaño de 2,2-2,5mm. En este sentido esta cebada requiere de más tiempo y por consiguiente representa eventualmente mayores gastos energéticos y traducidos a mayores costos económicos.

Los porcentajes de humedad final obtenidos en la fase de remojo se muestran en la tabla 9 donde la cebada de Socha y Floresta presentaron humedades próximas a un 45%, cumpliendo con los valores específicos de humedad. Mientras que las cebadas de Duitama, Pesca y Tuta mostraron los porcentajes de humedad más altos excediendo un poco el límite ideal de humedad.

Tabla 9. Contenido final de humedad en el grano de cebada durante el remojo

| Cebadas | Humedad final (%) |
|----------------|-------------------------|
| Socha | 43,98±0,03 ^a |
| Floresta | 45,44±0,53 ^b |
| Duitama | 47,49±0,96 ^b |
| Pesca | 48,21±0,02 ^b |
| Tuta | 46,24±0,19 ^b |
| p-valor | 0,001 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

El análisis estadístico de la varianza estableció que entre las diferentes cebadas existen diferencias estadísticamente al 95% en la humedad final del grano de cebada durante el remojo. De igual manera uno de los factores que afecta la capacidad de hidratación de los granos de cebada es el tamaño donde todas las cinco muestras de cebada presentaron diferencias en cuanto a los tamaños de los granos. En la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS) se encontró homogeneidad entre las cebadas de la Floresta, Duitama, Pesca y Tuta., mientras que la cebada proveniente de Socha fue diferente estadísticamente a las otras cebadas analizadas.

5.2.2. Germinación

La producción y actividad enzimática del grano de cebada se manifiesta con la germinación del grano, lo cual implica un crecimiento del cotiledón y de raicillas de la cebada conocido como desagregación mostrado en la figura 2. De acuerdo con el proceso de transformación de la cebada la malta es menos desagregada porque la germinación se detuvo cuando el tamaño de las raicillas eran 1,5 veces la longitud del grano que se emplean para la elaboración de maltas claras.

Se puede observar que a los 5 días se obtuvo una desagregación óptima del grano coincidiendo con Romain *et al.*, (2010) donde la germinación dura por lo general 5 días, a una temperatura de 16°C, al igual que en el trabajo de Ruiz (2006) donde estableció que a temperaturas entre 16-20°C durante 4 días la mayoría de las cebadas presentaron un porcentaje de germinación mayor a 85% cumpliendo con los requerimientos normativos.

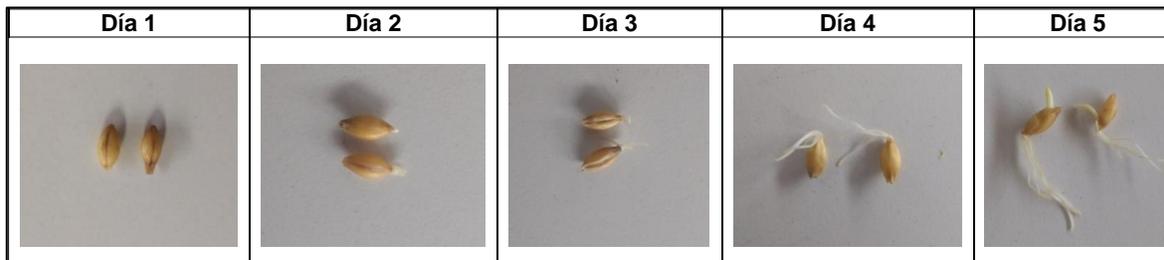


Figura 2. Registro fotográfico del proceso de germinación

El crecimiento de raicillas que se obtuvo bajo esta temperatura (14-18°C) son similares a los reportados por Pelembe *et al.*, (2002) quienes obtuvieron maltas con actividad enzimática deseable, produciéndose una adecuada modificación del grano cuando dichas muestras se germinaron entre 16-20°C y asimismo se evitó el desarrollo de hongos.

En la figura 3 se muestra el registro fotográfico de las cavadas provenientes de Boyacá en el día 5, en donde se puede observar que de acuerdo con los valores del poder germinativo (tabla 8) la cebada de Floresta presenta mayor cantidad de cebada germinada, sin embargo la cebada de Duitama es la que presentó mayor crecimiento de las raicillas, lo cual puede en algún momento traer consecuencias por el consumo de almidones y reduciría la capacidad de azúcares fermentables.

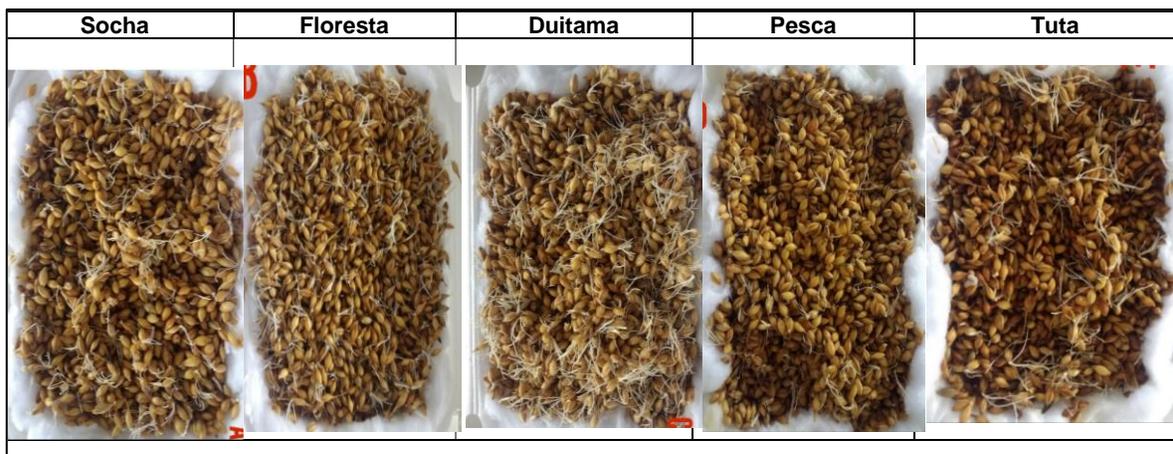


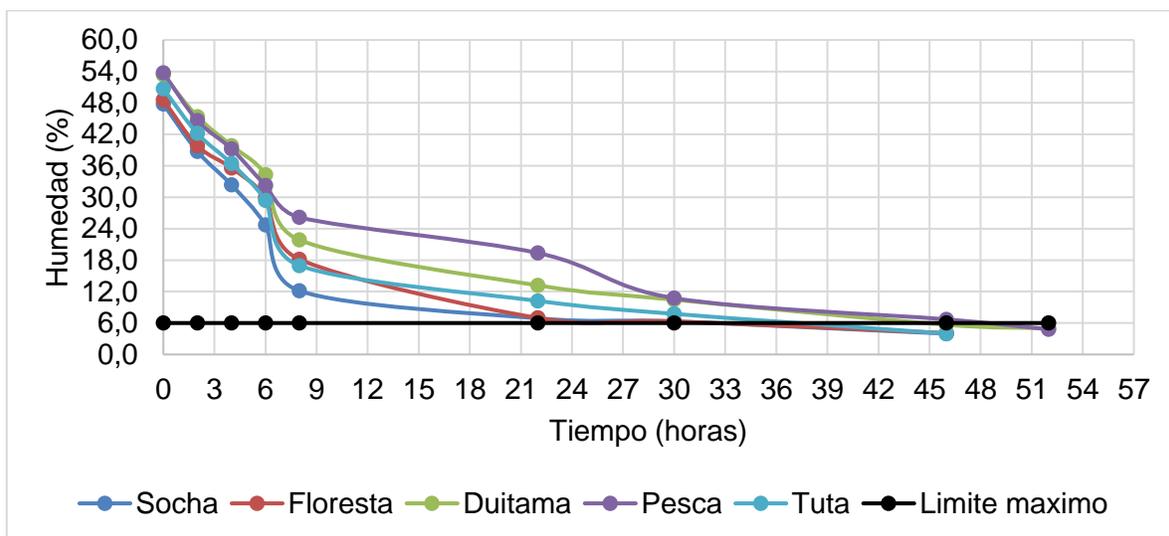
Figura 3. Registro fotográfico de la cebada germinada en el día 5

5.2.3. Secado

Después de la fase de germinación, todas las muestras se sometieron a un secado en dos etapas la primera a una temperatura de 57°C y la segunda a 67°C para maltas claras con el fin de inactivar la germinación y favorecer la activación de las enzimas diastáticas. Es así que se elimina la humedad de las cebadas

germinadas (malta verde) y se definen las características finales de color, sabor y aroma. Una malta para ser almacenada óptimamente debe presentar un contenido de humedad entre 3,8 y 7,3% según de los límites establecidos por la Analytica EBC, 2003. La humedad alcanzada en las maltas del presente estudio fue aproximadamente del 4 a 5% para todas las muestras.

En la gráfica 3 se muestra la evolución del secado de la malta verde obtenida a partir de las cebadas procedentes de los cinco municipios de Boyacá. Se puede ver que durante las primeras seis hora el comportamiento de secado es similar para todas las maltas y que a partir de esta hora unas reducen la humedad más que otras, siendo la de Socha la que más rápido reduce la humedad y la de Pesca la más lenta en eliminar el agua. De otra parte, sobre las 30 horas las maltas alcanzan el 12% de humedad en promedio a temperatura de 57°C y a partir de esta hora se incrementa la temperatura a 67°C para terminar el secado alcanzando un contenido de humedad del 6% en promedio sobre las 45 horas. Mientras que, la malta verde procedente de la cebada de Pesca requirió de 52 horas para llegar a la humedad límite de almacenaje. Esto indica que esta malta presenta mayores requerimientos energéticos y por ende mayor costos económicos que las demás maltas.



Grafica 3. Evolución del contenido de humedad durante el secado de la malta verde

El contenido final de humedad de todas las maltas (tabla 10) se encuentran dentro de los límites establecidos por la Analytica EBC, 2003, en donde la malta procedente de Duitama quedó con un contenido de humedad del 5% y la malta procedente de Socha y Floresta con la humedad más baja.

Tabla 10. Contenido final de humedad de la malta en el secado

| Cebadas | Humedad final (%) |
|----------------|------------------------|
| Socha | 3,97±0,03 ^a |
| Floresta | 4,08±0,02 ^a |
| Duitama | 4,99±0,05 ^b |
| Pesca | 4,80±0,06 ^c |
| Tuta | 3,98±0,04 ^a |
| p-valor | 0,000 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

Los resultados del análisis de la varianza (Anova un factor) indicaron que existen diferencias estadísticamente significativas en la humedad final de las maltas. Según la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS), las cebadas se agruparon en tres grupos homogéneos, un primer grupo conformado por Socha, Floresta y Tuta siendo estas similares en la humedad final y un segundo grupo Duitama y el tercer grupo por Pesca.

De acuerdo al proceso de malteado se puede indicar que las cebadas provenientes de Duitama, Pesca y Tuta fueron las que en la etapa de remojo embebieron más rápidamente el agua para llegar al límite requerido. Igualmente estas cebadas fueron las que secaron más rápidamente, por lo que se puede inferir que estas cebadas presentan mejor aptitud cervecera desde el punto de vista del proceso de malteado. De otro lado, todas las cebadas germinaron en un tiempo de 5 días, lo cual no hace la diferencia una de la otra.

5.3. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LAS MALTAS ELABORADAS A PARTIR DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS.

El malteado es la operación en donde la cebada modifica las características físicas y químicas hasta transformarlas en malta. Finalizada esta etapa se analizaron las propiedades fisicoquímicas de los extractos de las cinco maltas al igual que a tres maltas claras comerciales con el fin de ser comparadas y tener bases para determinar su calidad maltera o aptitud cervecera. A continuación se presentan los resultados obtenidos del color los granos de malta en escala Cielab*, seguimientos de la maceración y sacarificación, y análisis fisicoquímicos (color en escala Cielab*, SMR, EBC, gravedad específica, extracto aparente, acidez total, sólidos solubles (°Brix), pH, turbidez y viscosidad) a los extractos obtenidos también llamados mostos:

En cuanto al color en la escala CieLa*b*, las maltas analizadas presentan resultados similares en cuanto a las tres parámetros (tabla 11). Al hacer referencia a la luminosidad se puede notar las maltas se encuentra en valores entre 43,34 al 49,50, siendo la malta obtenida de la cebada de Pesca la que presenta el valor más bajo. Al comparar este parámetro con las maltas comerciales se observa que la malta de Viena (comercial) presenta el mayor valor de todas maltas. Mientras que las maltas Pilsen y Pale ale presentan valores similares a las maltas obtenidas en el estudio. De otra parte, los valores de la coordenada a* son similares entre las maltas obtenidas y las maltas comerciales, exceptuando la malta de Pesca quien presenta el valor más bajo. Se puede indicar que estas maltas presentan coloraciones rojizas, mientras la malta de Pesca presenta colores más pálidos con tendencias a coloraciones amarillas verdosa y no a coloraciones rojizas. Al observar la coordenada b* que representa las tonalidades amarillas se puede ver que todas las maltas tanto obtenidas en el estudio como las comerciales son similares oscilando valores entre 21,39 y 24,92, siendo de nuevo la malta de Pesca la que presenta el valor más bajo.

Los resultados de color del grano malteado comparado con el de las maltas comerciales, es un indicativo de que el proceso de malteado en especial en el secado fue óptimo, ya que, se logró obtener un color final similar con respecto a las maltas comerciales. De otra parte, se puede observar si se compara las malta obtenidas con la cebada (tabla 6) que en unos de los granos de cebada se aumenta la luminosidad y en otras se disminuye, pero el malteado favorece el aumento los tono rojizos (a*), mientras que los tonos amarillos se mantuvieron relativamente estables.

Tabla 11. Color del grano de cebada malteado.

| Maltas de estudio | L | a* | b* |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Socha | 48,77 ± 1,41 ^a | 6,14 ± 0,32 ^a | 23,65 ± 0,20 ^a |
| Floresta | 49,50 ± 0,81 ^a | 5,98 ± 0,63 ^a | 24,11 ± 0,74 ^a |
| Duitama | 45,89 ± 2,10 ^a | 6,00 ± 0,16 ^a | 23,74 ± 0,08 ^a |
| Pesca | 43,34 ± 0,60 ^b | 4,88 ± 0,53 ^b | 21,39 ± 0,47 ^b |
| Tuta | 49,75 ± 0,58 ^a | 6,98 ± 0,06 ^c | 24,92 ± 2,13 ^a |
| Maltas comerciales | | | |
| Pilsen | 47,98 ± 3,68 ^a | 5,48 ± 0,27 ^a | 21,93 ± 0,37 ^b |
| Pale ale | 49,73 ± 0,41 ^a | 6,48 ± 0,05 ^c | 23,77 ± 0,55 ^a |
| Viena | 55,24 ± 2,96 ^c | 5,65 ± 0,14 ^a | 24,91 ± 0,00 ^a |
| p-valor | 0,010 | 0,007 | 0,026 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

El análisis estadístico de la varianza indicó la existencia de diferencias significativas frente al color en las coordenadas L a* b* al 95%. La prueba DMS mostró que para la luminosidad se presentan tres grupos homogéneos integrando un grupo 1 las maltas de Socha, Floresta, Duitama, Tuta, Pilsen y Pale alé; un grupo 2 formado por la malta de Pesca y un grupo 3 por la malta tipo Viena. En cuanto a la coordenada a* se presentan también tres grupos homogéneos pero esta vez conformando un grupo 1 por Socha, Floresta, Duitama, Pilsen y Viena; un grupo 2 por Pesca y un grupo 3 por Tuta y Pale alé. En este mismo sentido para la coordenada b* se presentaron dos grupos conformando por un grupo 1 las maltas de Socha, Floresta, Duitama, Tuta, Pale alé y Viena y un grupo 2 por Pesca y Pilsen.

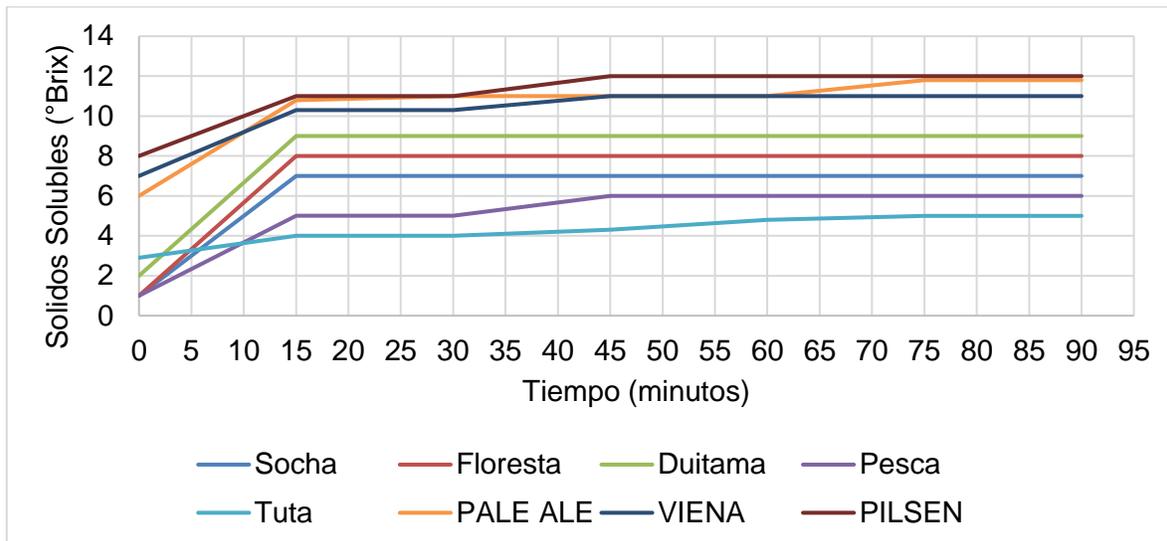
Finalmente se puede indicar que entre las maltas obtenidas y la comerciales el color es similar, destacando que la malta de Pesca es la que más se aleja del color en comparación con las maltas comerciales, especialmente en la coordenada a* la cual es totalmente diferente.

5.3.1. Macerado de las maltas

En la maceración, el tiempo de conversión de almidones a azúcares fermentables, es una etapa, que está vinculado a la calidad maltera, ya que estima la velocidad de hidrólisis en el almidón durante el curso de la digestión en la maceración (Coca *et al.*, 1988). De acuerdo con los rangos de calidad establecidos por la industria cervecera, el tiempo de conversión puede variar entre 5, 7 y 10 min como máximo (Figueroa, 1985).

En la gráfica 4 se muestran los resultados del seguimiento de la maceración de las maltas, en donde se observa que durante los primeros 15 minutos se produce la mayor conversión de almidón a azúcares. Se evidencia que las ocho maltas presentaron un tiempo de conversión dentro del establecido, antes de los 5 minutos. La degradación del almidón por acción de las amilasas coincide con el estudio de Díaz (2016) quien obtuvo un tiempo promedio de la conversión del almidón para las maltas entre 5 a 16 minutos. Se puede observar que en las maltas de Socha, Floresta y Duitama a los 15 minutos completaron la degradación, en cambio en las maltas de Pesca y Tuta la completa degradación se completó a los 45 y 75 minutos respectivamente, al igual que en las maltas industriales.

Con respecto a los valores obtenidos de los sólidos solubles en las ocho maltas se puede observar que el valor total de azúcares durante el macerado fue mayor en las maltas industriales con valores de 11 a 12 °Brix, por el contrario para las maltas obtenidas en el presente estudio presentaron un valor máximo de 9 °Brix (Duitama) y un mínimo de 5 °Brix (Tuta).



Grafica 4. Seguimiento los sólidos solubles durante el tiempo de sacarificación

Según (Gigliarelli, 2008) si la conversión del almidón no inicia en un tiempo máximo de 5 a 10 minutos esto puede implicar una deficiencia de las enzimas α y β amilasas que transforman el almidón soluble en azúcares. Otro factor que influye en el tiempo de conversión es la molienda, si ésta es gruesa, la extracción de azúcares será escasa y el rendimiento del grano será bajo, lo cual influenciará de manera negativa en la calidad final del mosto. Para el presente estudio este factor no es influyente, debido a que todas las maltas fueron molidas con la misma granulometría.

Se puede indicar que las maltas obtenidas comparadas con la maltas comerciales presentaron mediano contenido de azúcares fermentables al final de proceso, poniendo en manifiesto que es posible mejorar el contenido de azúcar bajando la cantidad de agua en la maceración con el fin de alcanzar los sólidos solubles para obtener una cerveza con una graduación de 4% de alcohol en volumen.

5.3.2. Características fisicoquímicas de los macerados (mostos) obtenidos

Al obtener el mosto se procede a enfriarlo con el fin de que sedimente para seguir el proceso de cocción y lupulización si el proceso es de cervecería, pero en este caso se procede a realizar los diferentes análisis fisicoquímicos para determinar su calidad con respecto a mostos obtenidos de maltas comerciales. En este sentido, en la tabla 12 se presentan los valores obtenidos del color en la escala de SMR (color Standard Reference Method) y EBC (European Brewing Convention), en donde se puede observar que en promedio las maltas obtenidas en el presente estudio presentan valores mal altos que las maltas comerciales.

Por otra parte, los valores del color de los mostos reportados por Hernández en el 2001, oscilaron de 2,15-2,65 SMR y de 3,85-4,35 SMR para maltas claras, valores muy lejanos a los obtenidos en los mostos estudiados. Pero si hace una comparación entre los valores obtenidos junto con la escala de color establecido por la SMR, se pueden usar estos mostos para elaborar cervezas con tonalidades rojizas como la Pilsen o pale ale.

Tabla 12. Color del mosto de la cebada malteada en la escala SMR y EBC

| | | | Maltas de estudio | SMR | EBC |
|--------------|-----------------|----------------|---------------------------|--------------|--------------|
| SRM/Lovibond | Example | Beer color EBC | Socha | 11,81 ± 0,03 | 23,27 ± 0,07 |
| 2 | Pale lager | 4 | Floresta | 9,28 ± 0,042 | 18,27 ± 0,09 |
| 3 | German Pilsener | 6 | Duitama | 11,26 ± 0,02 | 22,18 ± 0,05 |
| 4 | Pilsner Urquell | 8 | Pesca | 16,15 ± 0,03 | 31,82 ± 0,07 |
| 6 | | 12 | Tuta | 13,03 ± 0,01 | 25,66 ± 0,03 |
| 8 | Weissbier | 16 | Maltas comerciales | | |
| 10 | Bass pale ale | 20 | Pilsen | 6,76 ± 0,00 | 13,32 ± 0,02 |
| 13 | | 26 | Pale ale | 9,74 ± 0,00 | 19,20 ± 0,01 |
| 17 | Dark lager | 33 | Viena | 6,60 ± 0,00 | 13,01 ± 0,00 |
| 20 | | 39 | p-valor | 0,000 | 0,000 |
| 24 | | 47 | | | |
| 29 | Porter | 57 | | | |
| 35 | Stout | 69 | | | |
| 40 | | 79 | | | |
| 70 | Imperial stout | 138 | | | |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

Según la EBC (1975), los mostos deben presentar un color inferior a 20 unidades EBC, aproximadamente entre 8, 0 y 10 EBC para cervezas claras, se puede observar que las maltas industriales presentaron un color inferior a 20 EBC pero son mayores de 10 EBC, en cambio para los otros mostos estudiados todos son mayores de 20 EBC, con excepción de la malta de la Floresta quien se asemejó a los industriales.

El análisis de la varianza indicó que todos los mostos analizados presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza en cuanto al color en la escala SMR y EBC. Asimismo, la prueba DMS mostró que cada mosto es diferente uno del otro, lo cual indica que al elaborar cervezas con cada mosto, cada una de estas posiblemente presentaría un color diferente, imprimiendo unas características a la cerveza proveniente de cada mosto y facilitando la elaboración con mezclas de maltas que hoy en día se hace para cervezas artesanales.

De otra parte al analizar el color de los mostos por la escala CieLa*b* se observa (tabla 13), que las maltas elaboradas presentan valores más bajos de la luminosidad con respecto a los mostos de las maltas comerciales, exceptuando el mosto de la malta de la Floresta que presenta un valor similar a las comerciales.

En el caso de las tonalidades rojizas (a^*) los mostos de la malta de Socha y Floresta presentaron un mínimo valor con respecto a los otros mostos incluidos los comerciales. El mosto de la malta de Duitama y Pesca son los que presentan similitud con los mostos de las maltas comerciales, pero los mostos de las maltas de Floresta, Pesca y Tuta son los que presentan tonalidades similares a los mostos de maltas comerciales. En este sentido, al elaborar cervezas con las maltas elaboradas en el presente estudio presentarían un color más claro que los de las maltas comerciales, pudiéndose intuir que la medida del color por $CieLa^*b^*$ se puede correlacionar muy bien con el color medio en la escala de SMR y EBC que son los métodos oficiales para medir el color en mostos y cervezas.

Tabla 13. Color del mosto de la cebada malteada en la escala $CieLa^*b^*$

| Maltas de estudio | L | a^* | b^* |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| Socha | 19,80 ± 0,11 ^a | 0,20 ± 0,05 ^a | 9,90 ± 0,43 |
| Floresta | 21,00 ± 1,25 ^b | 0,58 ± 0,028 ^a | 10,80 ± 0,84 |
| Duitama | 19,64 ± 0,31 ^a | 3,90 ± 0,12 ^b | 9,08 ± 0,09 |
| Pesca | 15,70 ± 0,25 ^c | 3,29 ± 0,16 ^c | 11,29 ± 0,15 |
| Tuta | 17,12 ± 0,14 ^d | 1,75 ± 0,45 ^d | 12,01 ± 2,77 |
| Maltas comerciales | | | |
| Pilsen | 22,03 ± 0,16 ^b | 2,49 ± 0,03 ^e | 12,45 ± 0,07 |
| Pale ale | 21,14 ± 0,05 ^b | 5,43 ± 0,05 ^f | 11,67 ± 0,61 |
| Viena | 23,25 ± 0,21 ^d | 3,93 ± 0,12 ^b | 13,02 ± 0,04 |
| p-valor | 0,000 | 0,000 | 0,071 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

En los estudios de Diaz (2016) observó que los mostos presentaron un valor mínimo en la coordenada b^* de 9,60 en promedio, los cuales son similares a los obtenidos de los mostos de las maltas elaboradas. Al comparar también los resultados obtenidos con los de Steiner (1980) quien estudió la relación entre los distintos parámetros de calidad de la malta y la calidad de las cervezas, encontrando una correlación positiva entre extracto aparente y el color del mosto con el de la cerveza elaborada. Se puede indicar que con los resultados obtenidos, el color de la cerveza tendrá un color más acentuado a tonalidades más doradas si se elaboran con maltas de la Floresta, Pesca y Tuta. Estos resultados permiten deducir que todas las maltas a excepción de la Socha podrían ser buenas para elaborar cervezas doradas.

Asimismo, Cañizares *et al.*, (2007) mencionan que la intensidad de los cambios colorimétricos, tienen relación con el proceso de secado, ya que la deshidratación modifica la textura del alimento y su reflectancia. Cuanto más larga y elevada es la

temperatura del proceso, se producen distintos cambios en las coordenadas colorimétricas, por tanto, la malta de Duitama y Pesca fueron durante el secado duraron más tiempo y consecuentemente, se observa que el mosto de Pesca tiene mayor tonalidad amarilla que Duitama pero en cuanto a los tonos rojos son similares. Estos resultados permiten deducir que las cinco maltas cumplen con los parámetros de color para ser consideradas maltas cerveceras.

Estadísticamente se determinó que cada mosto es diferente frente a las coordenadas de L y a*, mientras que la coordenada b* no presentó tales diferencias significativas. La prueba DMS mostro que en entre la Luminosidad que Floresta y Duitama no existen diferencias mínimas significativas al igual la Floresta, la Pilsen y la Pale ale, sucediendo lo mismo con el mosto de Tuta y la Viena. Mientras que el mosto de pesca es totalmente diferente a las demás maltas tanto comerciales como elaboradas en el presente estudio. Para el caso de la coordenada a* no se presenta diferencias mínimas de las tonalidades rojizas entre los mostos de Socha y Floresta y entre el mosto de Duitama y Viena. Los otros mostos, cada uno presenta diferencias significativas con los otros.

Los valores obtenidos de gravedad específica y extracto de los diferentes mostos en estudio (tabla 14) son muy variados. Se observa una relación directa de la gravedad con el extracto aparente ya que ambos indican la cantidad de azúcares en solución. Desde la teoría es la cantidad de materia de sólidos solubles que han pasado de la malta al mosto, por tanto, se puede indicar que los mostos de maltas comerciales tiene un mayor contenido de sólidos como maltosa y dextrinas en comparación con los mostos resultantes de las maltas obtenidas de origen de Boyacá

Tabla 14. Gravedad específica y extracto aparente del mosto de la cebada malteada

| Maltas de estudio | Gravedad Especifica | Extracto aparente |
|---------------------------|---------------------|---------------------------|
| Socha | 1,0300 ± 0,00 | 7,56 ± 0,03 ^a |
| Floresta | 1,0341 ± 0,00 | 8,55 ± 0,02 ^b |
| Duitama | 1,0381 ± 0,00 | 9,53 ± 0,20 ^c |
| Pesca | 1,0268 ± 0,00 | 6,78 ± 0,11 ^d |
| Tuta | 1,0207 ± 0,00 | 5,24 ± 0,09 ^e |
| Maltas comerciales | | |
| Pilsen | 1,0499 ± 0,00 | 12,36 ± 0,03 ^f |
| Pale ale | 1,0473 ± 0,00 | 11,73 ± 0,21 ^g |
| Viena | 1,0469 ± 0,00 | 11,65 ± 0,25 ^g |
| p-valor | 0,000 | 0,000 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

Al comparar los resultados que obtuvo Hernández (2001) sobre diferentes extractos de las maltas, estos oscilaron entre 1.0537 y 1.0455 no coincidiendo con los obtenidos en este trabajo, ya que depende del tipo de relación que se realice (malta/agua), por lo que no hay una norma que establezca un valor específico del mismo. En este sentido, García y Álvarez, (2005) indicaron que cuanto más denso sea el mosto, más alcohol tendrá la cerveza acabada y mayor cantidad de lúpulo necesitara. En los mostos más densos el α -ácido es menos efectivo y se necesita más amargor para contrarrestar el dulzor de la malta. Además los mostos densos requieren más tiempo para fermentar y mucho más tiempo de maduración, siendo un punto negativo al usar este tipo de maltas. Basándose en lo anteriormente mencionado las maltas obtenidas en este trabajo puede ser óptimas para el proceso de cervecería debido a que la gravedad específica está por debajo del indicado.

Por otra parte, los valores de extracto aparente de los mostos analizados son elevados con respecto a los reportados por Dennis *et al.*, (2004) con un intervalo de 0,66 a 5,06. Se puede observar que, los mostos originarios de las maltas de Boyacá son más bajos que los mostos de las maltas comerciales, corroborando lo expuesto anteriormente con la gravedad específica. Asimismo, un valor alto de extracto aparente es indicativo de un alto rendimiento económico de la operación, al igual que se relaciona directamente con el rendimiento en litros de mosto (Huxley, 2011).

El análisis de la varianza indicó que todos los mostos analizados presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza en cuanto la gravedad específica y extracto aparente. La prueba DMS mostró que cada mosto es diferente de otro en cuanto a la gravedad específica. Mientras que, para el extracto aparente no se presentaron diferencias significativas entre el mosto de Viena y Pale ale, pero para los demás mostos de las otras maltas, cada mosto es diferente uno del otro, indicando que cada mosto puede dar origen a cervezas de diferentes características fisicoquímicas y sensoriales.

Con relación al pH y la acidez, los mostos analizados presentan valores muy variados (tabla 15). Al hacer referencia a la acidez según el código alimentario Argentino la reglamentación técnico-sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de la cerveza y de la malta líquida, establece los rangos de acidez total expresada como ácido láctico menores o iguales a 0,3% y de pH entre 4,0 y 5,0 pudiéndose observar que el porcentaje de acidez total en los ocho mostos supera lo establecido en el código Argentino. Sin embargo, se observa que los valores aquí obtenidos son similares a los reportados por Figueroa (1985), que oscilaron entre 5,60-5,90, para un mosto obtenido a partir de la malta de cebada de dos hileras. Adicionalmente Hough (1995), indicó que los valores típicos del mosto

cerveceros para fermentar deben estar entre un pH de 5,5 y 6,0 y que un mosto para que presente la facilidad de filtración debe tener un pH de 5,71, ya que pueden tapar los filtros con mayor facilidad.

Tabla 15. Acidez y pH del mosto de la cebada malteada

| Maltas de estudio | Acidez | pH |
|---------------------------|-------------|--------------------------|
| Socha | 0,94 ± 0,03 | 5,55 ± 0,07 ^a |
| Floresta | 0,66 ± 0,01 | 5,73 ± 0,01 ^b |
| Duitama | 1,26 ± 0,00 | 5,46 ± 0,03 ^c |
| Pesca | 1,14 ± 0,01 | 5,36 ± 0,00 ^d |
| Tuta | 0,78 ± 0,01 | 5,62 ± 0,00 ^e |
| Maltas comerciales | | |
| Pilsen | 1,08 ± 0,00 | 5,69 ± 0,00 ^b |
| Pale ale | 1,33 ± 0,04 | 5,35 ± 0,01 ^d |
| Viena | 1,20 ± 0,00 | 5,53 ± 0,01 ^a |
| p-valor | 0,000 | 0,000 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

El análisis de la varianza indicó que todos los mostos analizados presentan diferencias estadísticamente significativas al 95% de confianza en cuanto la acidez y pH. Asimismo, la prueba DMS mostró que cada mosto es independiente uno del otro mostrando diferencias mínimas significativas con respecto a la acidez. Mientras que para el pH no se presentaron diferencias entre los mostos de las maltas de Socha y Viena; entre los mostos de la Floresta y Pilsen y entre Pesca y Pale ale. Mientras que, los mostos de las maltas Duitama y Tuta son diferentes significativamente de los otros mostos.

Los resultados de turbidez y viscosidad de los diferentes mostos se presentan en la tabla 16, en donde se puede observar que es muy variado los valores de la turbidez, en cambio para la viscosidad se presentan resultados muy similares. Los valores de turbidez obtenidos son muy lejanos a los reportados por Figueroa (1985), indicando que la turbidez en el mosto debe ser brillante o ligeramente opalescente, lo cual corresponde a unidades de atenuación de formazina (FAU) inferiores a 13 FAU; al igual que en el trabajo de Diaz, (2016) donde estableció un promedio de 5 a 50 FAU. Es importante manifestar que generalmente los factores que producen turbidez en el mosto son la presencia de materia sin disolver, una deficiente modificación en el malteo, un secado incorrecto o una escasa modificación en el macerador; lo cual puede incidir directamente en la transparencia del líquido azucarado conocido como mosto, así como también el tiempo de reposo y sedimentación.

Se puede indicar, que los mostos de las maltas en estudio presentan altos valores comparados con los mostos de las maltas comerciales, lo cual implica mayor tiempo para la sedimentación mayor filtrado y mayores deshechos pudiendo traer menos rendimientos y mayores costos de procesamiento.

Tabla 16. Turbidez y viscosidad del mosto de la cebada malteada

| Maltas de estudio | Turbidez (FAU) | Viscosidad (mPa.s) |
|---------------------------|----------------|--------------------------|
| Socha | 233 ± 0,70 | 0,39 ± 0,02 ^a |
| Floresta | 255 ± 0,70 | 0,41 ± 0,02 ^a |
| Duitama | 258 ± 0,00 | 0,50 ± 0,02 ^b |
| Pesca | 235 ± 0,70 | 0,41 ± 0,02 ^a |
| Tuta | 145 ± 0,70 | 0,36 ± 0,03 ^c |
| Maltas comerciales | | |
| Pilsen | 59 ± 0,00 | 0,44 ± 0,04 ^a |
| Pale ale | 16 ± 0,70 | 0,49 ± 0,02 ^b |
| Viena | 18 ± 0,00 | 0,42 ± 0,04 ^a |
| p-valor | 0,000 | 0,027 |

n = 3. Media ± desviación típica. $p \leq 0,05$. Letras iguales en columnas no existen diferencias significativas

Frente a los resultados obtenidos de la viscosidad, se puede ver que estos son similares tanto para los mostos de las maltas en estudio como para los mostos de maltas comerciales, siendo el mosto de Tuta el presenta la menor viscosidad de todos. En este sentido, Narziss (1976) estudio la viscosidad del mosto encontrando que está relacionada a la estabilidad y filtrabilidad del mosto y de la cerveza, así como al mantenimiento, la estabilidad de la espuma y estableció una escala donde los mostos son muy buenos si presentan valores menores de 1,53 mPa.s, lo cual según los resultados obtenidos los mostos se consideran muy Buenos ya que oscilan entre 0,50 a 0,36 mPa.s. La viscosidad también está directamente relacionada al contenido en β -glucanos y a la actividad de la β -glucanasa producida durante el malteo, esto nos permite deducir que se llevó cabo correctamente la mayor actividad de esta enzima durante el malteado.

El análisis estadístico de la varianza indica que entre los diferentes mostos existen diferencias estadísticamente significativas al 95% en la turbidez y viscosidad. Según la prueba de diferencias mínimas significativas (DMS), los mostos según la turbidez cada uno es diferente uno del otro, orientado a que cada uno debe ser tratado de forma diferente para reducir la turbidez. Mientras que, en lo relacionado con la viscosidad, los mostos se agruparon en tres grupos homogéneos: grupo 1: (Pilsen, Viena, Socha, Floresta y Pesca); grupo 2: (Pale alé y Duitama) y el grupo 3 conformado por el mosto de Tuta, indicando así que las maltas obtenidas en

este estudio tienen similitud con alguna malta comercial y por lo tanto se pueden ser consideradas con aptitud cervecera según la viscosidad.

Finalmente, se puede indicar que, según las características fisicoquímicas analizadas en el presente estudio las maltas pueden ser consideradas con aptitud cervecera en cuanto a que el color con destinación a cervezas doradas, asimismo presentan menor gravedad específica y extracto aparente, lo que hace que se deba reducir la relación malta/agua para aumentar los sólidos solubles y por ende el extracto aparente. De otra parte los mostos requieren de mayor sedimentación para reducir la turbidez, pero son mejores en cuanto a la viscosidad que los mostos de maltas comerciales.

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados y los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

De las características fisicoquímicas del grano de cebada

- Según el análisis de selectividad, la cebada procedente del municipio de Socha, Floresta y Duitama sobre pasa el 85% de granos enteros y por tanto menor porcentaje de grano partido e impurezas haciéndola más aptas para la cervecería desde el punto de vista de rendimientos.
- Según la clasificación del grano, todas las cebadas superan el 95% del tamaño uniendo la tipología 1 (<2,5mm) y 2 (2,5-2,2mm) para ser orientadas como cebadas cerveceras, siendo de menor calidad la cebada proveniente del municipio de Pesca
- Las cebadas del municipio de la Floresta, Pesca y Tuta presentaron valores del peso de mil grano y peso hectolitrito superiores al estándar establecidos por la industria cervecera, sin embargo la cebada de Duitama y Socha presentaron los valores más altos de densidad medidos en estos dos parámetros.
- Aunque el color exterior del grano no es tenida en cuenta en la industria cervecera, se puede indicar que todas presentaron valores similares en la luminosidad, y las coordenadas a^* y b^* habiendo diferencias estadísticamente significativas.
- En la composición química de los parámetros de cenizas, humedad y proteína son muy variados presentándose diferencias estadísticas para cada parámetro coincidiendo con estudios realizados por otros autores, con excepción del contenido de humedad el cual no es apto para el almacenamiento.
- Siendo el poder germinativo es el indicador más importante para evaluar la calidad maltera, la cebada de la Floresta alcanzó un 98% de germinación seguidas por Socha, Pesca y Tuta con un 85%, mientras que la cebada de Duitama no a cumple con los parámetros establecidos del 85% de germinación para ser aptas para la industria cervecera

De proceso tecnológico del maltaje

- En las primeras ocho horas es donde hay una mayor imbibición de agua en todas las cebadas, pasando de una humedad inicial promedio de 13,5%

hasta un 35% requiriendo de 42 horas para llegar a la humedad promedio de 45%, excepto las cebadas de Socha y Floresta que requirieron de 52 horas para incrementar su humedad hasta 45%

- Todas las cebadas requirieron de cinco días para realizar la germinación, en donde cebada de Duitama fue la que presentó mayor crecimiento de las raicillas, lo cual puede en algún momento traer consecuencias por el consumo de almidones y reduciría la capacidad de azúcares fermentables.
- En el secado la malta proveniente del municipio de Socha fue la que más rápido reduce la humedad y la de Pesca la más lenta en eliminar el agua. Todas las maltas necesitaron de 45 horas para llegar al contenido de humedad del 6%, siendo la malta verde procedente de la cebada de Pesca la que requirió de 52 horas para llegar a la humedad límite de almacenaje.

De la calidad de la malta a partir del macerado y mosto

- El maltaje aumentó el color de la malta en las tonalidades rojizas (a^*), mientras que la luminosidad y las tonalidades amarillas (b^*) fueron similares con respecto al grano de cebada.
- las maltas provenientes de los municipios de Socha, Floresta y Duitama completaron la degradación de almidones a los 15 minutos. Mientras que en las maltas de Pesca y Tuta la degradación se completó a los 45 y 75 minutos respectivamente.
- Los azúcares obtenidos durante el macerado fue mayor en los mostos de las maltas comerciales (11 a 12 °Brix), mientras que para los mostos de las maltas obtenidas en el presente estudio presentaron un valor máximo de 9 °Brix para Duitama y un mínimo de 5 °Brix para el mosto de la malta proveniente del municipio de Tuta.
- Los mostos de las maltas obtenidas en el presente estudio presentaron valores más altos que los mostos de las maltas comerciales del color medido en la escala de SMR y EBC, orientando a la elaboración de cervezas con tonalidades rojizas como la Pilsen o pale ale.
- Se observó una relación directa de la gravedad y el extracto aparente con la cantidad de azúcares en solución siendo menor para los mostos de las maltas originarias de Boyacá y más altos para los mostos de las maltas comerciales.
- Los valores del pH de los mostos de las maltas en estudio se encuadraron en los valores típicos del mosto cervecero para fermentar deben estar entre un pH e 5,5 y 6,0, conllevando a una facilidad de filtración.
- Los mostos de las maltas obtenidas en el estudio presentan altos valores de turbidez comparados con los mostos de las maltas comerciales, lo cual

implica mayor tiempo para la sedimentación mayor filtrado y mayor cantidad de desechos pudiendo traer menos rendimientos y mayores costos de procesamiento.

- Los mostos de las maltas en estudio presentaron valores entre entre 0,50 a 0,36 mPa.s, lo cual los hace considerar como muy buenos para cervecería, estando relacionada directamente con el contenido en β -glucanos y a la actividad de la β -glucanasa permitiendo deducir el malteado se llevó correctamente.

Finalmente, se puede indicar que todas las cebadas estudiadas originarias de los municipios de Boyacá presentan aptitud cervecera de acuerdo a los diferentes parámetros analizados, siendo la cebada de la Floresta, Socha, Duitama, Tuta y Pesca en su orden de mayor a menor aptitud cervecera.

7. RECOMENDACIONES

Para complementar los resultados obtenidos de la aptitud cervecera de la cebadas de Boyacá, se recomienda realizar análisis del contenido de almidón durante todo el proceso del maltaje, así como determinar el poder diastático y contenido de α -amilasa para profundizar en el proceso de conversión de almidón a azúcares fermentables.

Igualmente se debe estudiar la relación malta/agua en el proceso de maceración con el fin de mejorar el contenido de las variables fisicoquímicas del mosto y hacerlo más apto para la elaboración de cerveza.

Sería de importancia realizar el proceso de elaboración y obtención cerveza a partir de las maltas derivadas de las cebadas estudiadas, analizando características fisicoquímicas y sensoriales del producto terminado.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agus, R. C., & Palmer, G. H. (1996). The effect of temperature on the modification of sorghum and barley during malting, *32 N°6*, 501–507.
- Anderson, Marchington, Zymoscience, & Uttoxeter. (2000). Current practice in malting, brewing and distilling. *Woodhead Publishing*, 9.
- Andersson, A. A. M., Andersson, R. and Aman, P. Starch and by-products from a laboratory-scale. Barley starch isolation procedure. *Cereal Chem* 2001: 78(5) 507-508.
- Annica, A., Cajsa, E., Roger, A., Sigurd, R., & Áman, P. (1999). Chemical and Physical characteristics of different barley samples. *Society of Chemical Industry. Journal of Science of Food and Agriculture.*, 979–986.
- AOAC. (1990). *Métodos oficiales de análisis de la AOAC*. (A. de químicos analíticos Oficiales, Ed.) (15ª ed. Mé). Arlington, VA, EE. UU.
- AOAC. (1994). *Metodos Oficiales de Analisis de los Alimentos*. (M. Vicente, Ed.) (Mundi-Pre). Madrid España.
- Bamforth, A., & Barclay, A. (1993). Malting Technology and the uses of malt. Barley: Chemistry and Technology. In *American Association of Cereal Chemists*. (pp. 297–354). St. Paul Minnesota.
- Bamforth, C. (2005). Brewing and brewing research: past, present and future. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Vol. 80, 1371–1378.
- BOE. Real Decreto 53/1995, de 20 de enero (1995).
- Borneo, R. (2012). Qué es el PHL o Peso Hectolitro de los Cereales. Retrieved from <http://www.concereal.es/node/118>
- Briggs, D. E. (1998). Malts and Malting. London, Blackie. *Technology and Chemist of Master Brewers Association of America*.
- Briggs, D. E., Boulton, C. A., Brookes, P. A., & Stevens, R. (2004). Brewing Science and Practice. *Cambridge: Woodhead Publishing Limited*.
- Callejo, M. J. (2002). *Industrias de Cereales y derivados*.
- Cañizares, A., Bonafine, O., & Laverde, D. (2007). Deshidratación de productos vegetales. INIA Divulga.
- Castañe, F., & Damm, S. A. (1997). *La cerveza: Historia, fabricación y propiedades. Alimentación (Equipo y Tecnología)*. España.
- Castillo, F., Rodriguez, R., Prieto, F., & Roman, A. (2012). Caracterización física y química proximal de la paja, grano y almidón de cebada variedad esmeralda. *Revista Biotecnología*, 9–20.
- Coca, A., & Fajardo, L. (1988). Curso de métodos analíticos de tecnología de cereales menores. Bogotá, Colombia.
- Dendy, D., & Dobraszczyk, B. (2004a). *Cereales y productos derivados, Química y Tecnología*. (Acribia., Ed.). Zaragoza, España.

- Dendy, D., & Dobraszczyk, B. (2004b). *cereales y productos derivados quimica y tecnologia* (Acribia). Zaragoza, España.
- Dennis, E., Boulton, P., & Brookes, R. (2004). Chemical and physical properties of beer. *In: Brewing Science and Practice*, 678–731.
- Desrosier, N. . (1999). Elementos de la tecnología de Alimentos (CECSA, pp. 145–150, 179–185). Mexico D.F.
- Dewar, J., & Berjak, P. (1996). *Journal of the Institute of Brewing*, 103, 171.
- Dewar, J., Taylor, J., & Berjak, P. (1997). Determination of Improved Steeping Conditions for Sorghum Malting. *Cereal Science*, 26, 129–136.
- Díaz, M. (2016). Evaluación De La Aptitud De 15 Genotipos De Cebada, Cultivados En 4 Localidades, Para La Obtención De Extracto De Malta.
- Doyle, P., & Beuchat, L. (2007). *Food microbiology fundamentals and frontiers. USA AMS Press DC*, 3, 852.
- Duarte, C. . (2011). cebada maltera: Una alternativa real para productores de ... - Fenalce. Retrieved February 15, 2018, from <https://www.yumpu.com/es/document/view/17337291/cebada-maltera-una-alternativa-real-para-productores-de-fenalce>
- Duijnhouwer, I., Grasshoff, C., & Angelino, S. (1993). Kernel filling and malting barley quality. *In: European Brewery Convention: Proceedings of the 24th Congress*, (p. 121–128.). Oslo, Norway.
- EBC. (1975). “Analytica – EBC”, Tercera Ingeniería de Alimentos (Bebidas Alcohólicas destiladas y Bebidas no alcohólicas) Página 17 de 18 Edición. Le Comitée des Analyses de l’ EBC. Zurich.
- EBC., A. (2003). European Brewery Convention.
- FAO. (2015). Cebada. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-au997e.pdf>
- FENALCE. (2015). Federación Nacional De Cultivadores De Cereales Y Leguminosas Departamento Económico.
- Ferran.J. (1959). *Varietades cerveceras y cerveza* (Aedos). Barcelona. España.
- Figuroa, J. (1985). *Métodos para evaluar la calidad maltera en cebada. Secretaría de agricultura y recursos hidráulicos. . Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas -INIA*. Mexico D.F.
- French, B. J., & McRuer, G. R. (1990). Malt quality is affected by various steep aeration regimes. *M. B. A. A. Technical Quarterly*, 27, 10–14.
- Galán, D., Oliver, R., & Estrany, F. (2004). La cerveza. Alimentación (Equipos y Tecnología). (pp. 2–121). España.
- García, F. (1965). El malteo de la cebada. *Cereales*, 17–20. Retrieved from http://oa.upm.es/8007/1/Olmedo_171.pdf
- García, J., & Calixto, F. (2000). . Evaluation of CIELAB parameters during the clarification of a sugar syrup from Mesquite pods (*Prosopis Pallida* L.). *International Journal of Food Science and Technology*, 35, 385–389.
- García, M., & Alvarez, L. (2005). *Beber y saber Una historia cultural de las bebidas* (Alianza).
- Gigliarelli, P. (2008). Molinos, Revista Mash: Ciencia Cervecera. Retrieved from

- www.revistamash.com/detalle.php?id=347
- Gonzales, P. (2016). Prepara tu cerveza. Retrieved from http://www.preparatucerveza.com/Cursos/Instrucciones_Pasoapaso.pdf
- González, G., Zamora, D., Huerta, C., & Solano, H. (2013). Eficacia de tres fungicidas para controlar roya de la hoja en cebada maltera. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(8), 1237–1250.
- Hernandez, M. del C. (n.d.). Universidad Tecnica De Ambato - Magdalena Del Carmen Hernandez Hidalgo - Google Books. Retrieved March 1, 2018, from https://books.google.com.co/books?id=ppQzAQAAMAAJ&pg=PP13&lpg=PP13&dq=extracto+aparente+de+mostos+de+cebada&source=bl&ots=PEf_Ee_VHU&sig=x2Saz0VJE7PYGFD1bEuiO7d0ael&HI=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiRI6SVu8vZAhUI5YMKHdh8AUMQ6AEIXzAF#v=onepage&q=extracto aparen
- HGCA. (2002). Ensuring good germination in malting barley. (Vol. (Home Grow, p. Topic sheet N° 60.). London.
- Hornsey, S. I. (1999). *Elaboración de cerveza (Microbiología, Bioquímica y tecnología)*. Zaragoza España: Editorial Acribia S.A.
- Hough, J.S. (1995). *HoughxxxBiotechnologiaCerveza*. (S. . Acribia, Ed.).
- Huxley, S. (2011). *La cerveza. Poesia liquida*.
- Langridge, P., & Barr, A. R. (2003). Preface to better barley faster: the role of maker assisted selection. *Australian Journal of Agricola Research*, 54, 1–4.
- López P, P., Prieto G, F., Gaytán M, M., & Román G, A. D. (2007). Caracterización Físicoquímica De Diferentes Variedades De Cebada Cultivadas En La Región Centro De México. *Revista Chilena de Nutrición*, 34(1), 71–77. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182007000100008>
- López P, Patricia, Guzmán O, Fabiola Araceli, Santos L, Eva María, Prieto G, Francisco, & Román G, Alma D. (2005). Evaluación de la calidad física de diferentes variedades de cebada (*Hordeum Sativum Jess*) cultivadas en los estados de hidalgo y tlaxcala, méxico. *Revista chilena de nutrición*, 32(3), 247-253
- MacGregor, M., Alexander, W., & Rattan, S. (1996). Chemistry and Technology. *American Association of Cereal Chemist, Inc.*
- Marchington, & Uttoxeter, Z. (2000). Current practice in malting, brewing and distilling. *Woodhead Publishing*, 9.
- Matus, N. L., & Redondo, E. . (1997). *Evaluación de los Métodos que Permitan el Control de Calidad en Harina, Masa y Tortilla de Maíz en un Proceso Industrial*.
- Meilgaard, M. (1993). *Efectos en el flavor de las innovaciones en los equipos cerveceros y en el proceso (I)*. (Alimentaci). España.
- Méndez, J. P., Prieto García, F., Cervantes, N. H., Domínguez Soto, J. M., & Román Gutiérrez, A. D. (2011). Métodos comparativos del poder germinativo en *Hordeum distichon L.* calidad maltera Methods for Comparing Germinative Power in *Hordeum distichon L.* Maltera. *Multiciencias*, 11(2), 121–128.
- Newton, A. C., Flavell, A. J., George, T. S., Leat, P., Mullholland, B., Ramsay, L.,

- Bingham, I. J. (2011). Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food Security*, 3(2), 141–178.
- NMX-FF-043-SCFI. Productos Alimenticios no Industrializados para consumo humano- cereal-cebada maltera (*Hordeum vulgare* y *Hordeum distichum*). - Norma Mexicana (2003).
- NTE INEN. (2004). Granos y cereales. Cebada. Requisitos.
- Ochandio, D., Rodriguez, J., Rada, E., Cardoso, L., & Bartosik, R. (2010). Almacenamiento de cebada cervecera en bolsas plásticas herméticas. *Pregón Agropecuario*.
- Pelembe, L., Dewar, J., & Taylor, J. (2002). Effect on malting conditions on pearl millet malt quality. *Journal of the Institute of Brewing*, 108, 13–18.
- PoeHlman, J. M. (1985). Adaptation and distribution. In: *Rasmusson, Donald C. (Ed). Barley. Agronomy 26, American S*, 1–18.
- Rios, Diana Katherine, Britto, Rodrigo, & Delgado, Hernando. (2011). Evaluación del rendimiento y sus componentes en genotipos de cebada (*Hordeum vulgare* L.) diferenciados por su tipo de espiga y grano. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 14(2), 55-63.
- RICO, E. (1980). El cultivo de la cebada cervecera en Colombia. In *Bavaria S.A.* (pp. 2–4).
- Rivas, R., & Barriga, P. (2002). Capacidad combinatoria para rendimiento de grano y caracteres de calidad maltera en cebada (*Hordeum vulgare* L.). Retrieved from http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttex.
- Romain, J., Croguennec, T., Schuck, B., & Brulé, G. (2010). *Ciencia de los alimentos: Bioquímica-Microbiología-Procesos-Productos. Bioquímica de la cebada*.
- Ruiz, Y. (2006). *Elaboración Y Evaluación De Maltas Cerveceras De Diferentes Variedades De Cebada (Hordeum Vulgare) Producidas En Los Estados De Hidalgo Y Tlaxcala*.
- Serna, S. S. R. (2001). *Química e industrialización de los cereales*. (AGT, Ed.). México, D. F.
- Shewry, P. R. (1992). Genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology. In *Department of Agricultural Sciences, University of Bristol*. (pp. 19-23-311-361). Long Asthon.
- Steiner, K. (1980). relationship between malt and beer analysis. *European Brewery Convention*, VI, 271–276.
- Thomas, W. T. B., Powell, W., Swanston, J. S., Ellis, R. P., Chalmers, K. J., Barua, U. M., ... Smith, D. B. (1996). Quantitative trait loci for germination and malting quality characters in spring barley cross (pp. 265–273).
- Tomaso, J. C. (2004). Cebada cervecera en la Argentina. *IDIA XXI* (p. v. 4(6) 210-216.).
- Tscheuschner, H. D. *Fundamentos de tecnología de los alimentos*. Editorial Acribia, España, 2001. pp 14

-
- V., B. (2016). Espectroscopía uv-vis y propiedades fisicoquímicas aplicados al análisis de cervezas artesanales y comerciales del estado de zacateca.
- Wainwriht, T. (1993). Nitrosamines in malt and beer. *Journal of Institute of Brewing.*, 92, 73–80.
- Wheith, L., & Klaushofer, H. (1993). Studies on malting technology: Aeration and enzyme activity. *Wallestein Laboratory Communications.*, 26, 59.
- Wolfgang, V. (1999). *Elaboración casera de cerveza* (Editorial). España.

